

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่ติดครีบริบรูปสามเหลี่ยม

SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A CHANNEL WITH
TRIANGULAR FINS



นายชยุต บุญวัฒน์
นายชัช นกจิบ
นายธราพงษ์ รัตนบัณฑิต

ร/ท.
๔๕ 196 ๗
๒๕๖๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

81765
24 ส.ย. 2551

b. 11937506
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A CHANNEL WITH
TRIANGULAR FINS



CHAYOOT BOONYAWAT

SCHACH NOKJIB

THARAPONG RATTANABANDARN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BECHALOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีคัตครีปรูปสามเหลี่ยม

SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A CHANNEL WITH TRIANGULAR FINS

ผู้จัดทำ

1. ชยุด บุญยวัฒน์ รหัสประจำตัว 47010146
2. ชัช นกจิบ รหัสประจำตัว 47010160
3. ธารพงษ์ รัตนบัณฑิต รหัสประจำตัว 47010329



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงค์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยม

นายชยุต บุญยวัฒน์ รหัสประจำตัว 47010146

นายชัช นกจิบ รหัสประจำตัว 47010160

นายธราพงษ์ รัตนบัณฑิต รหัสประจำตัว 47010329

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงผลจากการจำลองการทำงานของการไหลแบบราบเรียบภายในช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบสามเหลี่ยม โดยจะศึกษาอิทธิพลของครีบริบต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาจะเริ่มต้นสร้างแบบจำลองของช่องขนาน โดยที่ผิวของช่องขนานมีอุณหภูมิผิวคงที่ จากนั้นครีบริบสามเหลี่ยมจะถูกติดตั้งเข้าไปภายใน ครีบริบที่ติดตั้งนี้มี 2 รูปแบบคือ รูปแบบแรกค่าระยะพิດต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่แต่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า อีกรูปแบบคือค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่แต่ระยะพิດต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า หลังจากนั้นเริ่มการจำลองการทำงาน โดยกำหนดให้มีการไหลในช่วงราบเรียบ (เรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 400 ถึง 1100) โดยนำค่าพื้นที่ครีบริบที่ได้อัตราส่วนของพื้นที่ครีบริบที่เทียบกับช่องขนานผิวเรียบ ค่าตัวประกอบความเสียดทาน อัตราส่วนของตัวประกอบความเสียดทานเทียบกับช่องขนานผิวเรียบ และค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองการทำงานมาเปรียบเทียบกันเพื่อประเมินอิทธิพลของเรย์โนลด์นัมเบอร์ ความกว้างฐานครีบริบ และระยะพิດของครีบริบที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตัวประกอบความเสียดทาน

SIMULATION OF HEAT TRANSFER IN A CHANNEL WITH TRIANGULAR FINS

Chayoot Boonyawat 47010146

Schach Nokjib 47010160

Tharapong Rattanabandarn 47010329

Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge Advisor

ABSTRACT

This project presents the simulated result of Laminar flow in a channel mounted with triangular fins, by considering the influence of triangular fin on enhancement of heat transfer. At the first, a model of the channel is introduced at which its surface temperature is kept constant and a triangular fin is placed on the channel centre. There are 2 types of fins arrangement, first the pitch to channel height ratio is fixed and varying the fin base to be 0.33, 0.25 and 0.20 times of channel height, The other type is the fin base to channel height ratio is fixed while the pitch ratio is adjusted to be 1, 2, 3 and 4. Then, the simulation is performed for flow in a laminar range (Reynold number are 400 to 1100). Finally the Nusselt number, friction factor and enhancement efficiency are presented against the Reynolds number for different the pitch ratio and the fin base ratio that give their effect on convection heat transfer coefficient and friction coefficient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ อาจารย์พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ นำเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือเสมอมา และขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน สำหรับการให้คำปรึกษาข้อ กิตเห็นและคำแนะนำต่างๆ รวมทั้งขอขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชยุต บุญยวัฒน์
 ชัช นกจิบ
 ธารพงษ์ รัตนบันดาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	viii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 สมการต่อเนื่องในปัญหา 2 มิติ.....	3
2.2 สมการ โมเมนต์ดัดในปัญหา 2 มิติ.....	5
2.3 สมการพลังงานในปัญหา 2 มิติ.....	7
2.4 ลักษณะพื้นฐานการไหลภายในท่อ.....	9
2.5 การสูญเสียความดันภายในท่อ.....	13
2.6 ประเภทของการถ่ายเทความร้อน.....	14
2.7 สมดุลพลังงาน กรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่.....	18
2.8 ประสิทธิภาพของการพาความร้อน.....	20
บทที่ 3 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล.....	21
3.1 บทนำ.....	21
3.2 การประยุกต์โดยวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม.....	21
3.3 บทสรุปจาก Discretised สมการควบคุม.....	25
3.4 เงื่อนไขขอบเขต.....	26
3.5 กระบวนการหาคำตอบ.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 บทสรุป.....	29
บทที่ 4 วิธีการทดลอง.....	30
4.1 บทนำ.....	30
4.2 การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องขนานที่ติดครีบริบรูปสามเหลี่ยม.....	32
4.3 การใช้โปรแกรม Fluent ในการคำนวณและวิเคราะห์ผล.....	33
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	41
5.1 กรณีช่องขนานผิวเรียบ.....	41
5.2 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 1 เท่า.....	43
5.3 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 2 เท่า.....	47
5.4 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 3 เท่า.....	51
5.5 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 4 เท่า.....	55
5.6 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า.....	59
5.7 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.25 เท่า.....	63
5.8 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.20 เท่า.....	67
5.9 การเปรียบเทียบลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของพารามิเตอร์.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	76
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	76
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก บทความประกอบกรณำเสนอโครงการ.....	80
ประวัติผู้จัดทำ.....	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ (ที่ 300 K).....	16
3.1 ค่าสมการควบคุมสำหรับ Laminar model.....	22
3.2 Inlet boundary conditions.....	27
4.1 แสดงขนาดที่ใช้ในการทำการทดลอง.....	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราการไหลของมวล.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียล ($dx \cdot dy \cdot 1$) ในบาวนด์คาร์เลเซอร์ความเร็ว 2 มิติ.....	4
2.2 ความเค้นดั่งฉากและความเค้นเฉือนของปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียล 2 มิติ.....	6
2.3 แสดงลักษณะการไหลแบบบริเวณทางเข้า, กำลังพัฒนา และพัฒนาเต็มที่.....	12
2.4 แสดงลักษณะการไหลแบบทรานซิเอนต์.....	12
2.5 แสดงลักษณะการไหลแบบเทอร์บูเลนต์.....	13
2.6 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อ.....	14
3.1 ลักษณะการวาง cell แบบ staggered grid.....	23
3.2 ลักษณะของปริมาตรควบคุมสำหรับ scalar-cell.....	26
4.1 แบบจำลองที่ใช้ทำการทดลอง.....	30
4.2 แสดงการสร้างแบบจำลองใน โปรแกรม Gambit.....	32
4.3 การเลือกVersionในการทำงาน.....	33
4.4 การตั้งค่า Solver.....	34
4.5 ให้มีการคำนวณสมการพลังงาน.....	34
4.6 การตั้งค่า Viscous Model.....	35
4.7 แสดงการตั้งค่าคุณสมบัติของการไหล.....	35
4.8 การกำหนดค่า Operating Conditions.....	36
4.9 การปรับค่าคุณสมบัติของผนัง.....	36
4.10 แสดงการปรับค่า Periodic Conditions.....	37
4.11 แสดงการกำหนดค่า Solution Controls.....	38
4.12 แสดงการปรับค่า Residual Monitors.....	39
4.13 การเดาค่าเริ่มต้น.....	39
4.14 แสดงหน้าต่างที่เริ่มการคำนวณ.....	40
4.15 แสดงการรายงานผล.....	40
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานผิวเรียบ.....	42
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานผิวเรียบ.....	42
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 1$	44
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 1$	45
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 1$	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 1$	46
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 1$	46
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 2$	48
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 2$	49
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 2$	49
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 2$	50
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 2$	50
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 3$	52
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 3$	53
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 3$	53
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 3$	54
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 3$	54
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 4$	56
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 4$	57
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 4$	57
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 4$	58
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 4$	58
5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $B/D = 0.33$	60
5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $B/D = 0.33$	61
5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.33$	61
5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $B/D = 0.33$	62
5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $B/D = 0.33$	62
5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $B/D = 0.25$	64
5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $B/D = 0.25$	65
5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.25$	65
5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $B/D = 0.25$	66
5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $B/D = 0.25$	66
5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $B/D = 0.20$	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu / Nu_0 กรณี $B/D = 0.20$	69
5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.20$	69
5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f / f_0 กรณี $B/D = 0.20$	70
5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $B/D = 0.20$	70
5.38 แสดงสเต็มฟังก์ชันกรณี $B/D = 0.33, P/D = 1$	72
5.39 แสดงสเต็มฟังก์ชันกรณี $P/D = 1, Re = 1000$	73
5.40 แสดงสเต็มฟังก์ชันกรณี $B/D = 0.33, Re = 1000$	74
5.41 แสดงการกระจายของอุณหภูมิของกรณี $B/D = 0.33 P/D = 1 Re = 1000$	75
5.42 แสดงการกระจายของความดันของกรณี $B/D = 0.33 P/D = 1 Re = 1000$	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ปัจจุบันกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้กระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่มาก เช่น หม้อไอน้ำ เครื่องทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน การผลิตหรือการดำเนินงานต่างๆยังไม่สามารถทำได้มากเท่าที่ควรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในโรงงานนั้นๆมีการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีพอ หรือมีความเสียหายภายในช่องขนานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากเกินไป

ซึ่งจากการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำการติดตั้งครีบริบรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยมภายในช่องขนานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน และมีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของความเสียหายของการไหลภายในช่องขนานน้อยที่สุด ในการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานนั้น เราต้องสูญเสียเวลา วัสดุ อุปกรณ์และแรงงาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวเราจึงใช้โปรแกรม Fluent ซึ่งเป็นโปรแกรมทางด้านซีเอฟดี (CFD) ที่สามารถวิเคราะห์แรงและพลังงานของของไหลขณะไหลผ่านสิ่งต่างๆได้ มาช่วยในการจำลองการไหลของของไหลผ่านช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบอยู่ภายใน เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับของไหล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สำหรับโครงการนี้เราจะทำการศึกษาพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนความร้อนของช่องขนานที่มีครีบริบปริซึม 3 เหลี่ยมอยู่ภายใน

1. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมฟลูเอนท์ (Fluent) จำลองการไหลของของไหลผ่านช่องขนานที่มีครีบริบรูปสามเหลี่ยมติดอยู่ภายใน
2. ศึกษาความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่ทำให้ช่องขนานถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด
3. ศึกษาระยะพิทต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาค่าของเรโนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) ของของไหลที่ทางเข้า ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน
5. ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของความเสียดทานเมื่อติดตั้งครีบริบทรงสามเหลี่ยม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของโครงการนี้เราใช้โปรแกรมฟลูเอนท์ (Fluent) ประมวลผลแบบ 2 มิติอย่างละเอียด ในโครงการนี้เราได้สร้างแบบจำลองการไหลภายในช่องขนานที่มีครีบริบทรงสามเหลี่ยมติดอยู่ภายใน การจำลองการไหลของของไหลผ่านช่องขนานเราจะกำหนดให้ผนังช่องขนานมีอุณหภูมิที่ผิวคงที่และไม่มีการเคลื่อนที่ ของไหลที่ไหลเข้าคือ อากาศ อีกทั้งเราได้ควบคุมค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) ของของไหลที่บริเวณทางเข้า และอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันตามทิศทางการไหลของของไหลเท่ากับศูนย์ คิวแปรที่เราปรับค่าได้แก่ ระยะพิท และความกว้างฐานครีบริบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถนำโปรแกรมฟลูเอนท์ (Fluent) มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการถ่ายเทความร้อนของของไหล ที่ไหลผ่านช่องขนานซึ่งติดตั้งครีบริบภายในได้
2. สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของความกว้างฐานครีบริบกับอัตราการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานได้
3. สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของระยะพิทกับอัตราการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานได้
4. สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเรย์โนลด์นัมเบอร์ของความเร็วจาเข้ากับอัตราการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

การถ่ายเทความร้อน เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง แต่ทว่าไม่สามารถวัดพลังงานความร้อนได้โดยตรง จึงพิจารณาอุณหภูมิที่ได้จาก วิธีการทางฟิสิกส์แทน โดยอุณหภูมิของระบบเป็นสิ่งที่บอกถึงระดับของพลังงานดังกล่าว ระบบที่มีอุณหภูมิสูงแสดงว่าโมเลกุลของระบบมีการเคลื่อนที่ไวหวนอย่างมาก ส่วนระบบที่มีอุณหภูมิต่ำแสดงว่าโมเลกุลมีการเคลื่อนที่ไวหวนน้อย เมื่อโมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่อย่างรุนแรงปะทะกับโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้าในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่เชิงช้าจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นทำให้ระบบที่มีอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันในระบบที่มีอุณหภูมิสูงก็จะมีระดับพลังงานลดลงเนื่องจากการสูญเสียพลังงานบางส่วนออกไป ทำให้ระบบที่มีอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิลดลงเช่นกัน จากหลักการข้างต้นทำให้มนุษย์ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ สำหรับการถ่ายเทพลังงานจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่ง ดังจะสามารถพบเห็นได้ทั่วไปทั้งในชีวิตประจำวัน และวงการอุตสาหกรรม แต่โดยทั้งหมดนี้ การถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่ง สามารถเกิดขึ้นได้จากเหตุผลสามประการคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางหนึ่งจะถูกควบคุมโดยอิทธิพลรวมของการถ่ายเทความร้อนทั้งสามระบบ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรม เราจะพิจารณาการถ่ายเทความร้อนแยกกันในแต่ละประเภท และนำมารวมกันในผลสุดท้าย

2.1 สมการต่อเนื่องในปัญหา 2 มิติ

กฎอนุรักษ์อย่างหนึ่งของของไหลซึ่งเกี่ยวข้องกับบาวนด์รีเลเยอร์ความเร็วคือ สสารย่อมไม่อาจสร้างขึ้นใหม่หรือไม่สามารถทำลายได้ ซึ่งค่ากล่าวนี้สามารถใช้ได้กับปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียลตามรูปที่ 2.1 เราจะได้กฎที่กล่าวว่า “อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในชิ้นส่วนของไหลเท่ากับอัตราการไหลสุทธิของมวลที่เข้าไปในชิ้นส่วนของไหล”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในชิ้นส่วนย่อยของของไหล คือ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho dx dy) = \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy \quad (2.1)$$

ต่อไปเราจำเป็นต้องหาอัตราการไหลโดยมวลผ่านพื้นผิวและชิ้นส่วนย่อยซึ่งถูกให้โดยผลคูณของความหนาแน่น พื้นที่และความเร็วในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น จากรูปที่ 2.1 จะพบว่าการไหลสุทธิของมวลเข้าสู่ชิ้นส่วนย่อยผ่านพื้นผิวสามารถเขียนได้ ดังนี้

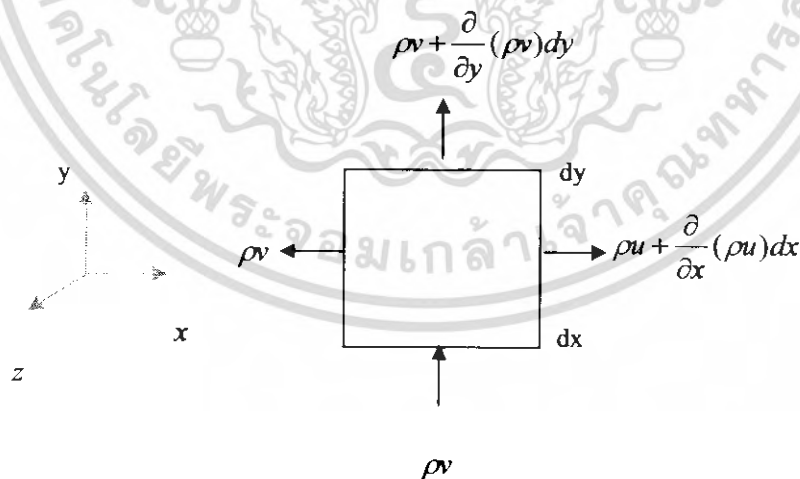
การไหลสุทธิของมวลตามแนวแกน x

$$(\rho v) dy - \left[\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \right] dy \quad (2.2a)$$

การไหลสุทธิของมวลตามแนวแกน y

$$(\rho v) dx - \left[\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dy \right] dx \quad (2.2b)$$

โดยการไหลเข้าสู่ชิ้นส่วนที่ทำให้มวลของชิ้นส่วนย่อยเพิ่มขึ้นถูกกำหนดให้เป็นบวก และมีค่าเป็นลบเมื่อมีการไหลออกจากชิ้นส่วนย่อย



รูปที่ 2.1 ปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียล ($dx \cdot dy \cdot 1$) ในพาวนด์รีเลเซอร์ความเร็ว 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมสมการ (2.1), (2.2a) และ (2.2b) เข้าด้วยกันตามกฎที่กล่าวไว้ข้างต้น แล้วเรียบเรียงเทอมทั้งหมดไว้ทางด้านซ้ายมือและถูกรวมด้วยพื้นที่ของชิ้นส่วนย่อย $dx dy$ ซึ่งจะได้

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

สมการ (2.3) นี้คือ สมการอนุรักษ์มวล หรือสมการความต่อเนื่อง 2 มิติ แบบการไหลไม่คงตัวและอัดตัวได้เทอมแรกทางซ้ายมือคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นต่อเวลา เทอมที่สองอธิบายถึงการไหลสุทธิของมวลข้ามผ่านขอบเขตของพื้นที่เล็ก ๆ นั้น มันจะถูกเรียกเป็นเทอมของการพา

สำหรับการไหลที่อัดตัวไม่ได้ ความหนาแน่นมีค่าคงที่ และสมการที่ (2.3) จะกลายเป็น

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

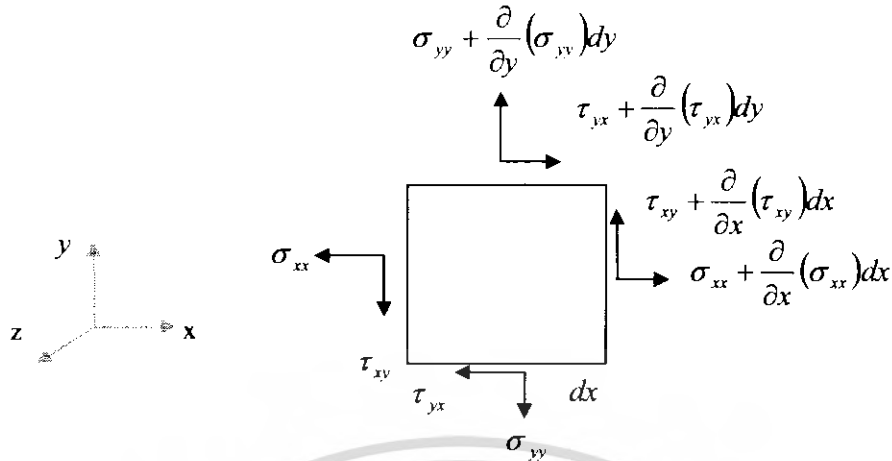
จากสมการที่ (2.4) เราสามารถสรุปเป็นกฎที่กล่าวว่า “สำหรับการไหลสม่ำเสมอแล้ว อัตราสุทธิของสสารที่เข้าไปในปริมาตรควบคุม (มวลที่ไหลเข้าลบกับมวลที่ไหลออก) ต้องเท่ากับศูนย์”

2.2 สมการโมเมนตัมในปัญหา 2 มิติ

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน สำหรับปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียลในบาวนด์คาร์เรเตอร์ของความเร็ว ทำให้เราได้กฎของของไหลที่กล่าวว่า “ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมต้องเท่ากับอัตราสุทธิของโมเมนตัมที่ออกจากปริมาตรควบคุม (โมเมนตัมที่ไหลออกไปลบกับ โมเมนตัมที่ไหลเข้ามา)”

แรงที่กระทำต่อของไหลในบาวนด์คาร์เรเตอร์มี 2 ชนิด คือ แรงจากมวลของไหล (Body Force) ที่เป็นผลจากอิทธิพลของสนามความโน้มถ่วง สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก เป็นต้น กระทำต่อมวลของของไหล และแรงที่ผิว (Surface Force) ที่เป็นผลจากความเค้นที่กระทำบนผิวของปริมาตรควบคุมที่จุดใดๆ ในบาวนด์คาร์เรเตอร์ ความเค้นชนิดสามารถแยกได้ 2 องค์ประกอบที่ตั้งฉากกันซึ่งก็คือ ความเค้นจาก σ_{xx} และความเค้นเฉือน τ_{xy} แรงที่ผิวตามรูปที่ 2.2 จะคิดว่ากระทำต่อของไหลภายในปริมาตรควบคุม และยังเกิดการกระทำซึ่งกันและกันกับของไหลรอบๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเค้นตั้งฉากและความเค้นเฉือนของปริมาตรควบคุมคิฟเฟอร์เนียนเชิล 2 มิติ

แต่ละความเค้นเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องได้ในแต่ละทิศทางของพิกัด โดย
ใช้การกระจายอนุกรมเทย์เลอร์สำหรับความเค้นเหล่านี้ เราจะได้แรงที่ผิวสุทธิในแต่ละทิศทางของ
พิกัดดังนี้

ทิศทางแกน x
$$F_{s,x} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right) dx dy \quad (2.5a)$$

ทิศทางแกน y
$$F_{s,y} = \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy \quad (2.5b)$$

ในการรวมโมเมนต์ดัมพลักซ์ทั้งหมดในทิศทาง x คือ (ρu) และโมเมนต์ดัมพลักซ์คือ (ρu)
และเช่นเดียวกันในทิศทาง y คือ (ρv) เราจะได้อัตราสุทธิของโมเมนต์ดัมพลักซ์ในทิศทางต่างๆซึ่งออก
จากปริมาตรควบคุม คือ

ทิศทางแกน x
$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\sigma_{xx} - P) + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + F_x \quad (2.6a)$$

ทิศทางแกน y
$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} (\sigma_{yy} - P) + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + F_y \quad (2.6b)$$

โดยที่ F_x คือ แรงทั้งหมดเนื่องจากมวลของไหล (Body force in-x direction) ในทิศทาง x ต่อ
หน่วยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_y คือ แรงทั้งหมดเนื่องจากมวลของไหล (Body force in-y direction) ในทิศทาง y ต่อหน่วยปริมาตร

P คือ แรงดันที่กระทำต่ออนุภาคของของไหล

สำหรับการไหลสองมิติ คุณสมบัติต่างๆของของไหลอัดตัวไม่ได้ ค่าความเค้นต่างๆจะเกี่ยวข้องกับความเร็วดังนี้

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.7)$$

$$\sigma_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.8)$$

$$\sigma_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.9)$$

เมื่อแทนค่าความเค้นต่างๆลงในสมการที่ (2.6a) และ (2.6b) จะได้

$$\text{ทิศทางแกน } x \quad \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.10a)$$

$$\text{ทิศทางแกน } y \quad \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.10b)$$

จากสมการข้างต้นเราสามารถอธิบายได้ดังนี้ เทอมทางซ้ายมือแทนแรงเนื่องจากความเฉื่อย (inertial force) เทอมแรกทางขวามือแทนแรงจากมวลของไหล (body force) เทอมที่สองแทนแรงจากความดัน (pressure force) และเทอมสุดท้ายในวงเล็บแทนแรงเนื่องจากความหนืด (viscous forces) ที่กระทำต่อของไหล

2.3 สมการพลังงานในปัญหา 2 มิติ

สมการพลังงานหาได้โดยการเขียนสมดุลพลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียลในสนามการไหล ที่กล่าวไว้ว่า “อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของอนุภาคของไหลเท่ากับอัตราการเพิ่มความดันแทนการเพิ่มอุณหภูมิบวกกับอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของอนุภาคของไหล” ถ้าเราไม่คิดพลังงานจากการแผ่รังสีและไม่มีแหล่งผลิตพลังงานในการไหลแล้ว สมดุลพลังงานในปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียล $dxdy$ (2 มิติ) อาจกล่าวได้ว่า

อัตราพลังงานที่เข้าโดยการนำ + อัตราพลังงานที่เข้าโดยแรงจากน้ำหนัก + อัตราพลังงานที่เข้าโดยความเค้นผิว = อัตราพลังงานที่เพิ่มขึ้น

โดยที่เทอมแรกคือ พลังงานที่เพิ่มแก่ปริมาตรควบคุมโดยการนำที่เกิดขึ้นในทิศทาง x และ y นั่นคือ

$$\text{อัตราพลังงานที่เพิ่มขึ้น โดยการนำ} = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}\right) dxdy \quad (2.11)$$

$$= k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) dxdy \quad (2.12)$$

เทอมที่สอง ถ้าให้ F_x และ F_y เป็น Body force ที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และให้ u และ v เป็นความเร็วในทิศทาง x และ y ตามลำดับแล้ว พลังงานที่เข้าไปในปริมาตรควบคุม $dxdy$ เป็นผลมาจากการเพิ่มของพลังงานศักย์ ดังนี้

$$\text{อัตราพลังงานที่เพิ่มขึ้น โดย Body force} = (uF_x + vF_y) dxdy \quad (2.13)$$

เทอมที่สาม อัตราพลังงานที่เพิ่มโดยความเค้นที่ผิวซึ่งประกอบด้วยความเค้น $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \tau_{yx}$ และ τ_{xy} คือ

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial x} [u(\sigma_{xx} - P)] + \frac{\partial}{\partial y} (v(\sigma_{yy} - P)) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{yx}) + \frac{\partial}{\partial x} (v\tau_{xy}) \right\} dxdy \quad (2.14)$$

เทอมที่สี่ พลังงานที่บรรจุในปริมาตรควบคุม ซึ่งพิจารณาได้ว่าประกอบด้วย พลังงานภายในจำเพาะ (e) และพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวล $[(u^2 + v^2)/2]$ เท่านั้น (ไม่คิดพลังงานศักย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{อัตราพลังงานเพิ่มของปริมาตรควบคุม} = \rho \left[\frac{De}{Dt} + \frac{1}{2} \frac{D}{Dt} (u^2 + v^2) \right] dx dy \quad (2.15)$$

โดยที่ D/Dt เป็นอนุพันธ์รวมเทียบกับเวลา (Total derivative) สำหรับการไหลสม่ำเสมอสองมิติ ในที่นี้กำหนดเป็น

$$\frac{D}{Dt} = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \quad (2.16)$$

โดยแทนสมการต่างๆในสมการสมดุลพลังงาน ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้กะทัดรัดโดยแทนด้วยสมการโมเมนต์ และค่าความเค้นต่างๆ แล้วจะได้สมการพลังงานในระบบพิกัดฉากสำหรับการไหลสม่ำเสมอสองมิติอัดตัวไม่ได้ คุณสมบัติต่างๆของของไหลนิวโตเนียนเป็น

$$\rho C_p \left(\frac{u \partial T}{\partial x} + \frac{v \partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \Phi \quad (2.17)$$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานหนืดแสดงได้ดังนี้

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (2.18)$$

เทอมต่างๆในสมการข้างบน (2.17) คือ เทอมซ้ายมือ แทนอัตราการถ่ายเทพลังงานโดยการถ่ายเทมวล ส่วนขวามือเทอมแรกในวงเล็บแทนการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ และเทอมสุดท้ายเป็นการสูญเสียพลังงานจากความหนืดในของไหล เนื่องจากความเสียดทานของของไหลภายใน

2.4 ลักษณะพื้นฐานการไหลภายในท่อ

พื้นฐานของการไหลของของไหลภายในท่อสามารถจำแนกได้โดยใช้เรย์โนลด์สคัมเบอร์ ซึ่ง เป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (Inertia force) ต่อความหนืด (Viscous force) โดยมีนิยามดังนี้

$$\text{Re} = \frac{\rho u_m D}{\mu} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	Re	คือ	ค่า Reynolds number
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล , kg/m^3
	u_m	คือ	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล , m/s
	D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ , m
	μ	คือ	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล , $kg/m.s$

กรณีท่อไม่กลม (Noncircular duct)

ในกรณีที่ท่อมีหน้าตัดไม่เป็นวงกลม จะต้องพิจารณาในรูปเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter) ดังนี้

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.20)$$

กรณีเป็นท่อสี่เหลี่ยมหรือช่องขนานรูปสี่เหลี่ยม

$$D_h = \frac{4bh}{2(b+h)} \quad (2.20a)$$

เมื่อ	D_h	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก , m .
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่อ , m^2
	P	คือ	ความยาวเส้นรอบรูปของท่อ , m .
	b	คือ	ความกว้างของช่องขนาน , m .
	h	คือ	ความสูงของช่องขนาน , m .

ลักษณะของการไหลภายใน (Internal flow) มี 3 ชนิดได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1. การไหลแบบลามินาร์ (Laminar)

การไหลของของไหลในกรณีที่เรย์โนลด์ค่านับเบอร์ มีค่าน้อยกว่า 2100 มีลักษณะที่ราบเรียบและไหลแยกชั้นต่อกัน แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

2.4.1.1. การไหลแบบพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed Flow)

เกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลผ่านท่อที่มีความยาวมากเกินพอลักษณะที่สำคัญคือความเร็วของแต่ละชั้นของไหลมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแนวแกนของท่อ ช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการไหลแบบพัฒนาเต็มที่ หาได้จากสมการ

$$\left(\frac{X_{fd,h}}{D}\right) \approx 0.05 \text{ Re} \quad (2.21)$$

เมื่อ $X_{fd,h}$ คือ ความยาวของท่อช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการไหลแบบพัฒนาเต็มที่, m

Re คือ ค่า Reynolds number

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, m

ความยาวของท่อช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับสภาวะที่ปรับตัวเต็มที่แล้วของความร้อนสำหรับการไหลแบบลามินาร์ ได้จากสมการ

$$\left(\frac{X_{fd,t}}{D}\right) \approx 0.05 \text{ Re Pr} \quad (2.22)$$

พลาตันนับเบอร์ (Prandtl Number: Pr) ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ได้จากนิยาม

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2.23)$$

เมื่อ Pr คือ พลาตันนับเบอร์

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะแบบความดันคงที่, $kJ/kg^\circ K$

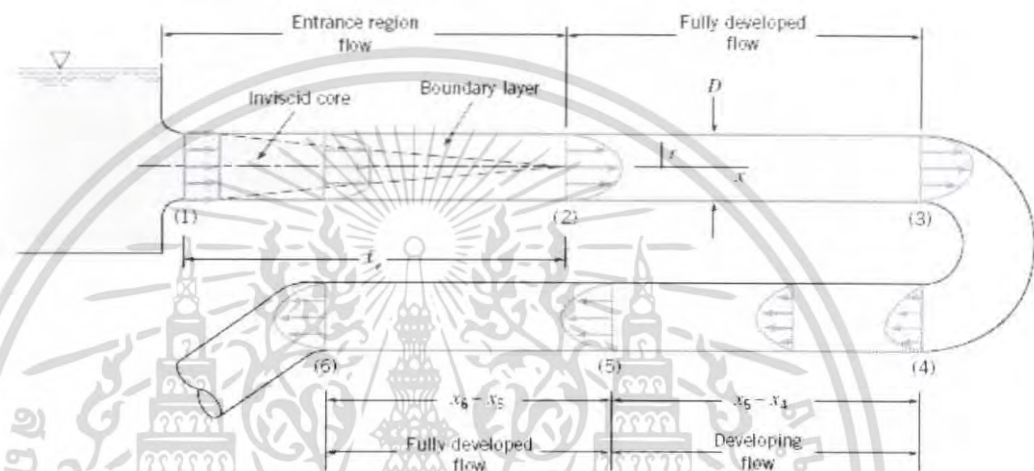
μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล, $N.s/m^2$

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, $W/m^\circ K$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2. การไหลบริเวณทางเข้า (Entrance Region)

เกิดขึ้นที่บริเวณจุดที่ใกล้เคียงทางเข้าของท่อ รูปแบบความเร็วของชั้นของไหลยังไม่คงที่แต่จะค่อยๆพัฒนาจนคงที่ต่อไป



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการไหลแบบบริเวณทางเข้า , กำลังพัฒนา และพัฒนาเต็มที่

2.4.2. การไหลแบบทรานสิชัน (Transition)

คือการไหลที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงจากการไหลลามินาร์ไปยังเทอร์บูเลนต์ โดยมีลักษณะการไหลที่ผสมผสานกันทั้ง 2 รูปแบบ มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 2100 ถึง 4000



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการไหลแบบทรานสิชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3. การไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Flow)

เป็นการไหลแบบไม่เป็นระเบียบเกิดการผสมกันของกระแสสูง มีค่าเรย์โนลด์ส์ด้นมเบอร์มากกว่า 4000 และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงได้ทุกแกนอ้างอิงความยาวของท่อ



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการไหลแบบเทอร์บูเลนต์

2.5 การสูญเสียความดันภายในท่อ

การไหลภายในท่อของของไหล สามารถเป็นไปได้ทั้งการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน ในกรณีการไหลในท่อที่มีของไหลไหลเต็มท่อ ค่าความดันลดหรือพลังงานที่สูญเสียไปกับความเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.5.1. กรณีการไหลภายในท่อกลมที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่าตัวประกอบเสียดทาน (Friction factor) สามารถหาได้จาก

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.24)$$

สำหรับกรณีช่องขนานค่าตัวประกอบเสียดทานสามารถหาได้จาก

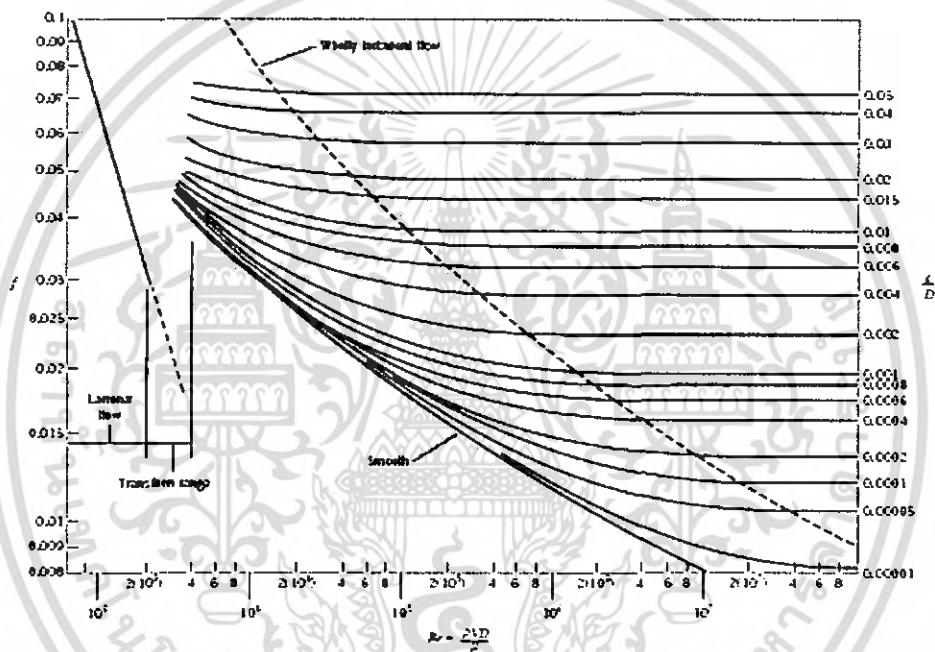
$$f = \frac{96}{Re} \quad (2.25)$$

2.5.2. กรณีการไหลแบบปั่นป่วน การวิเคราะห์จะยุ่งยากมากกว่าโดยอาจพิจารณาความสัมพันธ์ได้จากโคอะแกรม Moody โดยพิจารณาจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์และสัมประสิทธิ์ความขรุขระภายในท่อ หรืออาจใช้สมการในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหลภายในท่อของของไหล ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P = \frac{fL\rho v^2}{2D} \quad (2.26)$$

- เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันลด , Pa
- f คือ ค่าตัวประกอบเสียดทาน
- L คือ ความยาวของท่อ , m
- v คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในท่อ , m/s



รูปที่ 2.6 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อ

2.6 ประเภทของการถ่ายเทความร้อน

2.6.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน เกิดจากการส่งผ่านพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยการส่งความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่มอเลกุลหนึ่งอย่างต่อเนื่องกัน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่โมเลกุลดังกล่าวจะมีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนสามารถนำความร้อนได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และสามารถเกิดขึ้นได้บ้างในตัวกลางที่เป็นของเหลว และก๊าซ และความร้อนที่เคลื่อนที่โดยการนำความร้อนเกิดขึ้นได้โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้อิเล็กตรอนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็งในลักษณะของพลังงานความสั่นสะเทือนอีกด้วย โดยทั่วไปจะพบว่าโลหะจะสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าโลหะ เนื่องจากโลหะมีโมเลกุลที่จัดเรียงอยู่อย่างเป็นระเบียบความร้อนจึงถูกถ่ายเทผ่านไปในลักษณะของพลังงานของความสั่นสะเทือนได้อย่างสะดวก และโลหะก็ยังมีจำนวนอิเล็กตรอนจำนวนมาก ซึ่งช่วยให้การส่งผ่านพลังงานความร้อนได้ดีมากยิ่งขึ้น

การนำความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถหาได้โดยอาศัยกฎของฟูริเยร์ (Fourier's law) ซึ่งกล่าวไว้ว่า สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางทึบทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (q_x) ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (A_x) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว $\frac{dT}{dx}$ สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state)

$$q_x = -kA_x \frac{dT}{dx} \quad (2.27)$$

หรือ

$$q_x'' = \frac{q_x}{A_x} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.28)$$

เมื่อ	q_x	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านพื้นที่หน้าตัด A_x , Watt
	q_x''	คือ	ค่าฟลักซ์ความร้อน, W/m^2
	k	คือ	ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity), $W/m^\circ C$
	A_x	คือ	พื้นที่หน้าตัดของผนังราบที่ตั้งฉากกับทิศทางการนำความร้อน, m^2
	$\frac{dT}{dx}$	คือ	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงระยะทาง dx , $^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสภาพการนำความร้อนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุที่ได้จากการวัดและทดสอบ โดยทั่วไปค่าสภาพการนำความร้อนจะแปรผันตามอุณหภูมิ ซึ่งจากการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์จะพบว่าค่าสภาพการนำความร้อนของแก๊สจะแปรผันตามกำลังสองของอุณหภูมิสมบูรณ์และค่าสภาพการนำความร้อนของของเหลวต่างๆยกเว้น น้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิสมบูรณ์ สำหรับการใช้งานจริงจะใช้ค่าสภาพการนำความร้อนคงที่ ซึ่งหาได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ (ที่ 300 K)

วัสดุ	ค่าสภาพการนำความร้อน
เงิน	429
ทองแดง	401
ทอง	317
อะลูมิเนียม	237
เหล็ก	80.2
ปรอท	8.54
แก้ว	1.4
อิฐ	0.72
น้ำ	0.613
ผิวหนังของมนุษย์	0.37
สารทำความเย็น R – 12	0.072
อวกาศ	0.026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2. การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้น วัตถุจะเปลี่ยนพลังงานส่วนหนึ่งของตัวเองไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เมื่อคลื่นเหล่านี้เคลื่อนที่ไปกระทบวัตถุอื่นในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วแสง พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นเหล่านี้จะถูกดูดไว้แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน วัตถุที่แผ่รังสีจะสูญเสียพลังงานของตัวเอง และถ้าวัตถุนั้นไม่ได้รับพลังงานจากแหล่งอื่นเข้ามา อุณหภูมิของแหล่งนั้นก็ลดลง โดยอุณหภูมิของวัตถุจะคงที่ต่อเมื่ออัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับอัตราการรับความร้อน การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งผ่านสุญญากาศได้ ซึ่งต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อนซึ่งจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

เมื่อวัตถุใดมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ วัตถุนั้นจะแผ่รังสีออกมาตลอดเวลาที่ทุกๆ ความยาวคลื่น โดยทั่วไปวัตถุจะแผ่รังสีออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่วัตถุแผ่รังสีออกมา สามารถหาได้โดยการรวมความร้อนที่วัตถุนั้นแผ่ออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน โดยอัตราการแผ่รังสีความร้อนทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่เรียกว่า พลังงานการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะพื้นผิววัตถุ

$$q_{rad} = A_{rad} \epsilon \sigma T_s^4 \tag{2.29}$$

เมื่อ	q_{rad}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน , Watt
	A_{rad}	คือ	พื้นที่ผิวที่มีการแผ่รังสีความร้อน , m^2
	ϵ	คือ	สภาพการแผ่รังสีของพื้นผิวมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
	σ	คือ	ค่าคงที่สเตฟาน – โบลตซ์มันน์ เท่ากับ 5.7×10^{-8}
	T_s	คือ	อุณหภูมิผิวของวัตถุ , K

ซึ่งโดยทั่วไปที่หากอุณหภูมิผิวของวัสดุใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อม ผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนนี้จะมีค่าน้อยมาก ซึ่งในงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผลกระทบดังกล่าวมีค่าน้อยมากเช่นกัน ดังนั้นจึงไม่นำผลดังกล่าวมาพิจารณาในงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

2.6.3. การพาความร้อน

เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของไหลและผิวของแข็งมีค่าต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของแข็งจะเกิดขึ้น เมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมพันธ์กับผิวของของแข็ง กลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อน” การพาความร้อนแบ่งตามการเกิดได้สองประเภทได้แก่ การพาความร้อนแบบบังคับ (force convection) ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นโดยการทำขึ้นเองโดยใช้ปั๊มหรือพัดลมเป็นตัวทำให้เกิดแรงกระทำของไหลไหลผ่านบนพื้นผิว และการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (free or natural convection) ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัวที่มีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่น ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล เช่น ปล่อยแผ่นวัตถุร้อนที่วางอยู่ในแนวตั้งไว้ในอากาศเย็นที่อยู่หนึ่ง ชั้นของอากาศที่ติดกับพื้นผิวของแผ่นวัตถุจะมีการเคลื่อนที่เพราะเกรเดียนต์อุณหภูมิในอากาศเป็นผลทำให้เกรเดียนต์ของความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่ของของไหลมีผลกระทบต่อสนามอุณหภูมิภายในภายในของไหล

2.7 สมดุลพลังงาน กรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่

การป้องกันกันความร้อนไหลออกนอกระบบสามารถทำได้ด้วยการหุ้มฉนวนกันความร้อน ในบริเวณที่อาจก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานสู่ภายนอกซึ่งงานทดสอบ (โดยสมมติให้ไม่มีการสูญเสียหรือการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบ) ปริมาณความร้อนที่คายออกมาจะเท่ากับปริมาณความร้อนที่ของไหลเย็นได้รับ จากทฤษฎีการสมดุลความร้อนพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไหลได้รับเท่ากับ

$$Q_{conv} = hA_s(T_w - T_\infty) \quad (2.30)$$

เมื่อ	Q_{conv}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไหลได้รับ , Watt
	h	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน , $W / m^2.C$
	A_s	คือ	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน , m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_w คือ อุณหภูมิผิวผนังร้อน , °C

T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหลที่บริเวณทางเข้า , °C

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ; h

ค่าสัมประสิทธิ์กรณีเป็นท่อกลมผิวเรียบ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สภาพการไหลของของไหล สมบัติเชิงความร้อนของของไหล และยังขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลด้วย โดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะพิจารณาในรูปของนัสเซิลท์นัมเบอร์ (Nusselt Number : Nu_D) ดังสมการ

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2.31)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.C$

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัตถุ $W/m.C$

Nu คือ นัสเซิลท์นัมเบอร์

การไหลแบบลามินาร์ปรับตัวเต็มที่แล้วภายในท่อ โดยมีอุณหภูมิที่ผิวท่อคงที่ เราสามารถหาค่านัสเซิลท์นัมเบอร์โดยขบวนการทำซ้ำ (Iteration) โดยคอมพิวเตอร์ ได้ค่าความสัมพันธ์ของนัสเซิลท์นัมเบอร์ดังนี้

กรณีท่อกลม $Nu = 3.66$

กรณีท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า $Nu = 2.35$

กรณีสี่เหลี่ยมด้านเท่า $Nu = 2.98$

กรณีช่องขนานผิวเรียบ $Nu = 7.54$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ประสิทธิภาพของการพาความร้อน

เราสามารถวัดประสิทธิภาพการพาความร้อนได้ของช่องขนานที่ติดครีบ โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับการพาความร้อนของช่องขนานเปล่า เมื่อกำหนดให้กำลังขับ และคุณสมบัติของของไหลที่บริเวณทางเข้าเหมือนกันทุกประการ เราจะได้สมการประสิทธิภาพของการพาความร้อนดังนี้

$$\eta = \frac{\frac{Nu}{Nu_0}}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^{1/3}} \quad (2.32)$$

เมื่อ	η	คือ	ประสิทธิภาพของการพาความร้อน
	Nu	คือ	ค่านัสเซิลท์นัมเบอร์ของช่องขนานที่ติดครีบ
	Nu_0	คือ	ค่านัสเซิลท์นัมเบอร์ของช่องขนานเปล่า
	f	คือ	ตัวประกอบเสียดทานของช่องขนานที่ติดครีบ
	f_0	คือ	ตัวประกอบเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

3.1 บทนำ

ดังที่ได้กล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทที่ผ่านมาแล้วข้างต้น จะพบว่าสมการที่ได้ทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ที่ผูกพันกันอยู่ และเป็นสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งมีความซับซ้อนและไม่สามารถที่หาคำตอบได้โดยวิธีตรง โดยในบทนี้จะได้นำเสนอการแก้ปัญหาโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical method) ด้วยวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาคำนวณที่เกี่ยวข้องกับของไหล รูปแบบทั่วไปโดยทำการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย แบ่งกริด (Grid) จากนั้นจึงแล้ว discretise ค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละสมการ ลงบนจุด (node) ภายในปริมาตรควบคุม (Control volume) แบบ Staggered grid ซึ่งถูกเสนอโดยในปี 1980 โดย Patankar รวมทั้งทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) สำหรับแต่ละปัญหาในกรณีการศึกษาต่างๆ หลังจากนั้นใช้ SIMPLE algorithm ในการเดาค่าเริ่มต้นของความเร็วตามแนวแกนและความดันเพื่อหาผลลัพธ์แทนลงในสมการอนุกรมโมเมนต์และ สมการอนุกรมมวล แล้วจึงใช้วิธี TDMA แบบ Line-by-Line กระบวนการในการแก้สมการซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายในการหาคำตอบจนกว่าคำตอบจะลู่เข้า

3.2 การประยุกต์โดยวิธีปริมาตรสืบเนื่อง

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ถูกกล่าวมาก่อนหน้านี้ข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ประกอบไปด้วยเทอม Convection, Diffusion และ Source สำหรับการไหลในสองมิติได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi)}_{C(\text{convection})} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_x \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_y \frac{\partial \phi}{\partial y}\right)}_{D(\text{diffusion})} = \underbrace{S_\phi}_{S(\text{source})} \quad (3.1)$$

โดยที่ ϕ เป็นตัวแปรที่พิจารณา, Γ_ϕ เป็นสัมประสิทธิ์ของการแลกเปลี่ยน และ S_ϕ เป็นเทอมของ Source สำหรับรายละเอียดของค่าต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

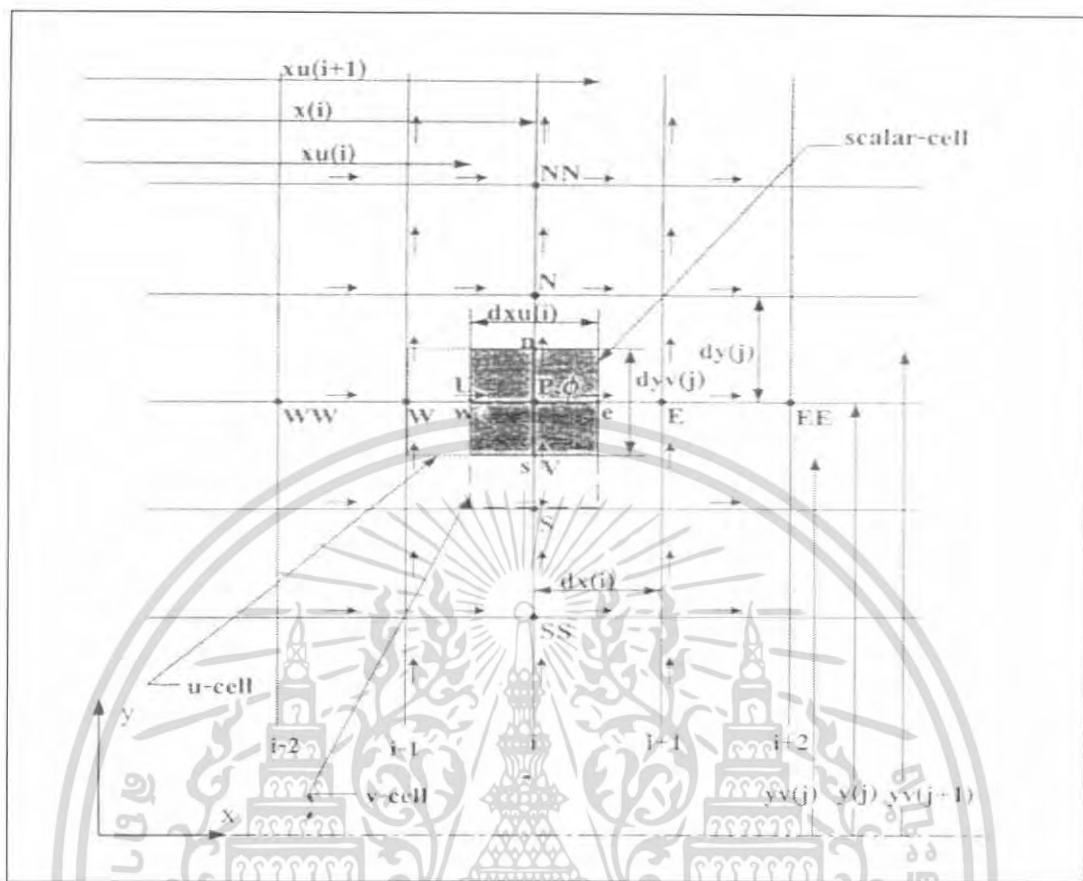
ตารางที่ 3.1 ค่าสมการควบคุมสำหรับ Laminar model

Conservation of	ϕ	Γ_{ϕ}	Γ_{ϕ}	S_{ϕ}
Mass	1	0	0	0
x-momentum	u	μ	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right]$ $+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right]$
y-momentum	v	μ	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right]$ $+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right]$
Temperature	T	μ / σ	μ / σ	0

3.2.1 The staggered grid

การแบ่งกริดภายในปริมาตรควบคุมเป็นแบบ Staggered grid ซึ่งแบ่งความเร็วออกมาคิดที่บริเวณระหว่างจุดต่อเซลล์ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 โดยเริ่มจากการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์ตลอดทั้งปริมาตรควบคุมแล้ว Discretise ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่พิจารณา ลงบนจุดต่อ (node) ต่างๆ โดยสามารถแยกเทอมของความเร็วตามแนวแกนกับความดันได้เป็น u-cell, v-cell และ Scalar cell เพื่อให้สอดคล้องกับ Continuity equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ลักษณะการวาง Cell แบบ Staggered grid

3.2.2 The convection term

Discretisation ของ Convection term ทำได้โดยการอินทิเกรตตลอดทั้งปริมาตรควบคุม สำหรับตัวแปร ϕ ได้เป็น

$$C = C_e \phi_e - C_w \phi_w + C_n \phi_n - C_s \phi_s \tag{3.2}$$

โดยที่ Convection flux คือ

$$C_e = \rho_e u_e A_e$$

$$C_w = \rho_w u_w A_w$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_n = \rho_n u_n A_n$$

$$C_s = \rho_s u_s A_s$$

โดย ϕ_e, ϕ_w, ϕ_n และ ϕ_s เป็นองค์ประกอบของค่า ϕ ที่ผนังของเซลล์ ซึ่งหาได้โดยใช้วิธีการประมาณค่า จึงจำเป็นที่ต้องอาศัย Schemes เข้ามาช่วยในการประมาณค่าที่บริเวณผิวของปริมาตรควบคุม ซึ่งในที่นี้จะนำเสนอคือ Upwind schemes ซึ่งใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในเทอมของ Convection เพื่อแทนลงไปในการสมการเชิงอนุพันธ์ข้างต้น

โดยใช้การประมาณค่า ϕ ที่ตำแหน่งผิวของปริมาตรควบคุมใดๆ โดยใช้ค่าที่ตำแหน่ง Upstream ที่อยู่ข้างเคียง โดยยกตัวอย่างเฉพาะที่ตำแหน่ง e เท่านั้น คือ

$$\phi_e = \begin{cases} \phi_P & \text{if } C_e > 0 \\ \phi_E & \text{if } C_e < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

ที่ตำแหน่งอื่นๆ จะทำในทำนองเดียวกัน

3.2.3 The diffusion term

ในเทอม Diffusion term ของตัวแปร ϕ ในปริมาตรควบคุมสามารถประมาณค่าได้จาก Central differencing scheme โดย

$$D = -D_e(\phi_E - \phi_P) + D_w(\phi_P - \phi_W) - D_n(\phi_N - \phi_P) + D_s(\phi_P - \phi_S) \quad (3.4)$$

ที่ซึ่ง

$$D_e = \frac{\Gamma_P + \Gamma_E}{2} \frac{A_e}{dx_{P-E}}$$

$$D_w = \frac{\Gamma_P + \Gamma_W}{2} \frac{A_w}{dx_{P-W}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_n = \frac{\Gamma_P + \Gamma_N}{2} \frac{A_n}{dx_{p-n}}$$

$$D_s = \frac{\Gamma_P + \Gamma_S}{2} \frac{A_s}{dx_{p-s}}$$

และ dx, dy เป็นระยะระหว่างจุดโนด บนแกน x และ y ตามลำดับ

3.2.4 The source term

Source term เป็นเทอมที่เหลือจากการ Discretised สมการ ในปริมาตรควบคุมซึ่งสามารถหาได้จาก

$$S = S_p V \quad (3.5)$$

โดยที่ V เป็นพื้นที่ภายในปริมาตรควบคุมและ S_p สามารถแยกเป็น 2 ส่วน ได้เป็น

$$S_p = S_c + S_p \phi_p \quad (3.6)$$

ที่ซึ่ง S_p มีค่าเป็นลบ

3.3 บทสรุปจาก Discretised สมการควบคุม

ผลจากการ Discretised สมการเชิงอนุพันธ์ เมื่อพิจารณาภายในปริมาตรควบคุม ซึ่งสามารถแยกออกเป็น convection, diffusion และ source term ตลอดทั้งปริมาตรควบคุมรอบๆ จุด P ดังในรูปที่ 4.2 จัดอยู่ในรูปพีชคณิต ดังนี้

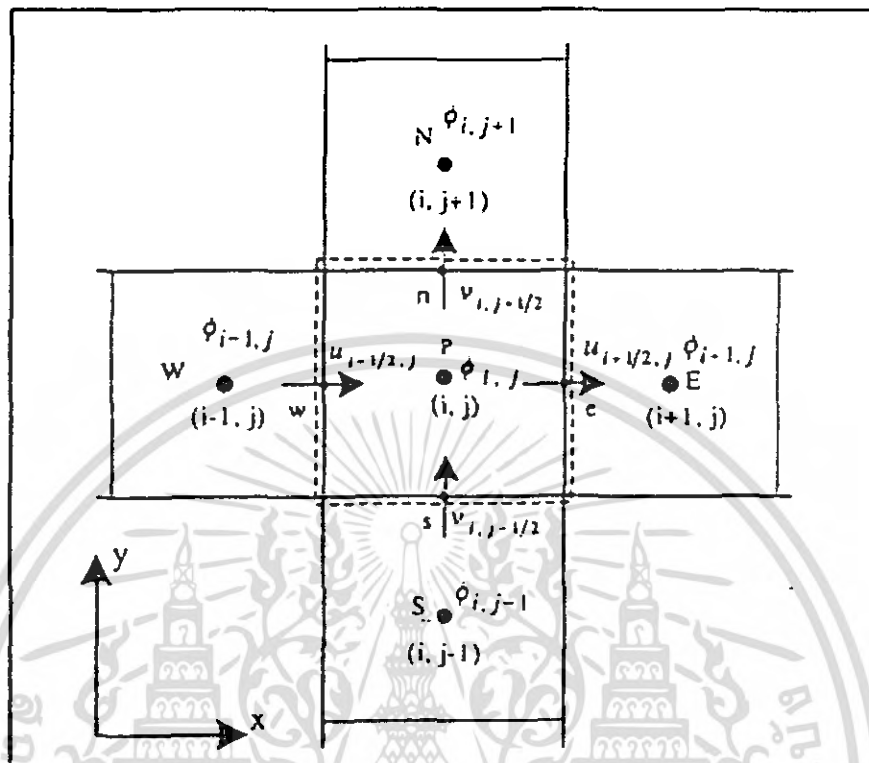
$$a_p \phi_p = a_E \phi_E + a_W \phi_W + a_N \phi_N + a_S \phi_S + S_c \quad (3.7 a)$$

โดยที่

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S - S_p \quad (3.7 b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ a เป็นสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการรวมผล Convection และ Diffusion ที่ผิวของปริมาตรควบคุม



รูปที่ 3.2 ลักษณะของปริมาตรควบคุมสำหรับ Scalar-cell

สัมประสิทธิ์ a ของ Upwind scheme จะได้เป็น

$$a_E = \max(-C_e, 0) + D_e \quad (3.8 a)$$

$$a_w = \max(C_w, 0) + D_w \quad (3.8 b)$$

$$a_N = \max(-C_n, 0) + D_n \quad (3.8 c)$$

$$a_S = \max(C_s, 0) + D_s \quad (3.8 d)$$

3.4 เงื่อนไขขอบเขต

จากการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีปริมาตรสลับเนื่อง จากที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น แต่รูปแบบการไหลสามารถกำหนดได้ด้วย Boundary condition ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัญหาที่ต่างไปโดยการประยุกต์รูปแบบของปัญหาที่คล้ายคลึงกันในกรณีการศึกษาต่างๆ ซึ่งจะประกอบด้วย Inlet boundary conditions, Periodic boundary conditions, Wall boundary conditions และ Symmetry boundary condition

3.4.1 Inlet boundary conditions

ในการศึกษานี้ ได้ใช้ข้อมูลซึ่งสรุปไว้ในตารางที่ 3.2 ด้านล่างดังนี้

ตารางที่ 3.2 Inlet boundary conditions

Variable	Expression	Note
u	-	มาจากอัตราการไหลของมวลที่สอดคล้องกับเรย์โนลด์นัมเบอร์ (ตารางที่ 4.2)
v	-	-
T	-	300 K

3.4.2 Periodic boundary condition

สำหรับเงื่อนไขที่เป็นคาบการไหลจะหาได้จากการนำค่า Outlet boundary condition ของแบบจำลองรูป (Loop) ก่อนหน้ามาใส่ค่าเป็น Inlet boundary condition ของรูปถัดไป

3.4.3 Wall boundary conditions

เงื่อนไขขอบเขตของผนัง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นผนัง ค่าความเร็วในแนวแกน u และ v มีค่าเป็นศูนย์ แต่สำหรับบริเวณใกล้ผนังค่าความเร็วขึ้นอยู่กับ Boundary layer

3.4.4 Symmetry boundary condition

ในกรณีสมมาตร จะพิจารณา Computational domain เพียงครึ่งเดียวเท่านั้น และตัวแปรต่างๆ ตัวได้ถูกกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Zero gradients) หรือกำหนดให้เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 กระบวนการหาคำตอบ (Solution Procedure)

วิธีการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งถูกแก้สมการ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ด้วยวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม ผลที่ได้สมการจะจัดอยู่ในรูปของเมตริกซ์ซึ่งจะใช้เทคนิคของวิธีการ TDMA แบบ line - by - line มาช่วยในการแก้สมการ แต่เนื่องจากในเทอมของสมการอนุพันธ์โมเมนต์ มีเทอมของความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่ใช้ในการแยกความสัมพันธ์ที่มีต่อความดันกับความเร็วตามแนวแกน จึงขอแนะนำ Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation (SIMPLE algorithm) มาช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าว

พิจารณา Computational domain พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นๆ ประกอบกัน และในแต่ละเส้นถูกแก้หาคำตอบโดยใช้วิธี TDMA โดยสมมุติว่าทราบค่าบริเวณจุดต่อข้างเคียง จากนั้นใช้วิธีการทำซ้ำจนกว่าคำตอบจะเข้า

จากสมการที่ขคณิต (3.7 a) ซึ่งเป็นจุดหนึ่งบนเส้นตัวอย่าง สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$a_p \phi_p = a_E \phi_E + a_w \phi_w + (a_N \phi_N + a_s \phi_s + S_C) \quad (3.9)$$

เทอมที่อยู่ในวงเล็บสมมุติว่าเป็นค่าคงที่ จากสมการข้างต้นสามารถแสดงได้เป็น

$$D_i \phi_i = A_i \phi_{i+1} + B_i \phi_{i-1} + C_i \quad (3.10)$$

เมื่อ i เป็นตำแหน่งของจุดต่อบนกริดในแนวแกน x หรือ y

ยกตัวอย่างในแนวแกน x

$$A_i = a_E$$

$$B_i = a_w$$

$$C_i = (a_N \phi_N + a_s \phi_s + S_C)$$

$$D_i = \sum a_{nb} - S_p \quad (nb = \text{จุดต่อที่อยู่ข้างเคียง})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการทำซ้ำโดยแทนไปข้างหน้าแล้วจัดรูปจะได้

$$\phi_i = A_i \phi_{i+1} + C_i \quad (3.11)$$

ที่ซึ่ง A'_i และ C'_i ได้จากการจัดจากกระบวนการทำซ้ำโดยแทนไปข้างหน้า

$$A'_i = \frac{A_i}{D_i - B_i A'_{i-1}}$$

$$C'_i = \frac{C_i + C'_{i-1} B_i}{D_i - B_i A'_{i-1}}$$

ถ้าค่า $A'_1 = 0, C'_1 = \phi_1$ ซึ่งจะสอดคล้องกับ (3.11) ที่จุดเริ่มต้นของเส้น ค่า A'_i และ C'_i จะหาได้ตลอดที่ทุกๆ ตำแหน่ง i และค่า ϕ_i สามารถหาได้จากสมการ (3.11)

3.6 บทสรุป

วิธีการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งถูกแก้สมการโดยอาศัยการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมได้ถูกอธิบายไว้ในบทนี้ โดยพิจารณาปริมาตรควบคุมเป็นแบบ Staggered grid รวมทั้งทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับแต่ละปัญหาในกรณีการศึกษาต่างๆ ซึ่งใช้เทคนิคของวิธีการ TDMA แบบ line-by-line มาช่วยในการแก้สมการ

บทที่ 4

วิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์ในโปรแกรม Fluent ซึ่งเราได้สร้างแบบจำลองสำหรับการไหลแบบลามินาร์ (Laminar) ผ่านช่องขนานที่มีอุณหภูมิที่ผิวคงที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.1 โดยกำหนดให้ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดคงที่, B เป็นความสูงของครีป, P เป็นระยะห่างของครีปแต่ละอัน



รูปที่ 4.1 แบบจำลองที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดที่ใช้ในการทำการทดลอง (m)

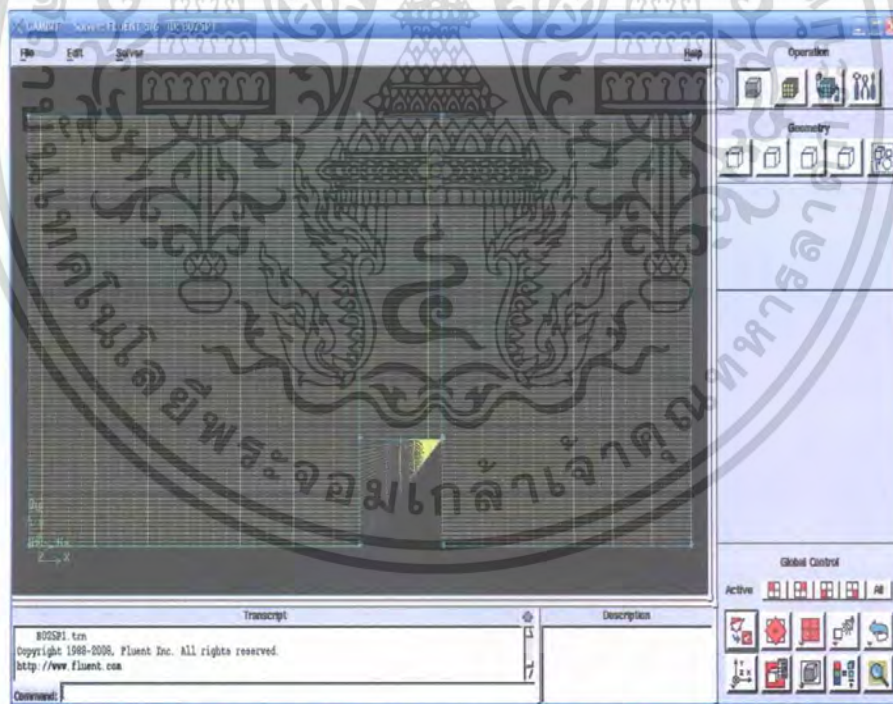
B/D	P/D	B	P
0.2	1	0.002	0.01
	2	0.002	0.02
	3	0.002	0.03
	4	0.002	0.04
0.25	1	0.0025	0.01
	2	0.0025	0.02
	3	0.0025	0.03
	4	0.0025	0.04
0.33	1	0.0033	0.01
	2	0.0033	0.02
	3	0.0033	0.03
	4	0.0033	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องขนานที่ติดครีบริบรูปสามเหลี่ยม

เนื่องจากแบบจำลองช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมมีลักษณะสมมาตรรอบแกนอน ดังนั้นจึงสามารถสร้างแบบจำลองครึ่งรูปแล้วใช้เงื่อนไขขอบแบบสมมาตรเข้ามาช่วย โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สร้างแบบจำลองในโปรแกรม Gambit โดยสร้างแบบจำลองขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 ที่บนระนาบสองมิติที่กำหนดให้แกน z มีค่าเป็น 0 เพื่อเป็นแบบจำลองในระนาบ 2 มิติ
2. สร้างกริดลงในแบบจำลองโดยใช้คำสั่งเพื่อแบ่งเส้นต่างๆ เป็นส่วนแล้วรวมการแบ่งเส้นให้เป็นตารางของกริดดังรูปที่ 4.2
3. กำหนดชนิดของเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง จากรูปที่ 4.2 กำหนดให้เส้นด้านบนมีเงื่อนไขขอบชนิด Wall เส้นตั้งซ้ายและขวากำหนดเป็น Periodic และเส้นแนวนอนล่างที่เหลือกำหนดเป็น Symmetry



รูปที่ 4.2 แสดงการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Gambit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การใช้โปรแกรม Fluent ในการคำนวณ

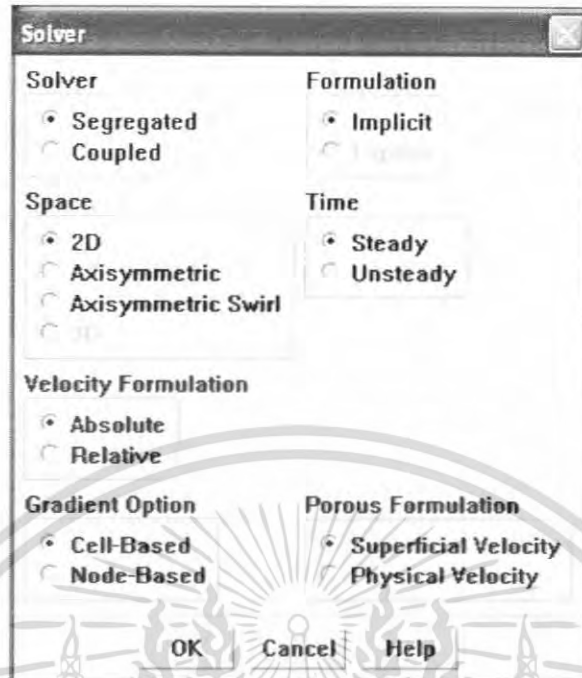
หลังจากสร้างแบบจำลองขึ้นมาแล้ว ขั้นตอนต่อมาจะนำแบบจำลองมาคำนวณผ่านโปรแกรมหาผลเฉลย โดยในที่นี้จะใช้โปรแกรม Fluent โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เข้าสู่โปรแกรมและเลือก Version การทำงาน โดยเลือกรูปแบบการทำงานให้มีความละเอียดเป็นสองเท่าโดยเลือก 2ddp ใน Fluent
2. ตั้งค่า Solver ในช่อง Solver เลือกเป็น Segregated ในช่อง Space เลือกเป็น 2D ในช่อง Velocity Formulation เลือกเป็น Absolute ในช่อง Gradient Option เลือกเป็น Cell-Based ในช่อง Formulation เลือกเป็น Implicit ในช่อง Time เลือกเป็น Steady
3. เลือกให้มีการคำนวณสมการพลังงาน
4. การตั้งค่า Viscous Model ให้เลือกในช่อง Model เป็น Laminar
5. การกำหนดคุณสมบัติของของไหลซึ่งมีการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ โดยเลือกใช้เป็นอากาศ มีความหนาแน่น 1.1614 kg/m^3 ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ 1007 J/kg-K ค่าการนำความร้อน 0.0263 W/m-K ความหนืด $1.846(10^{-4}) \text{ kg/m-s}$

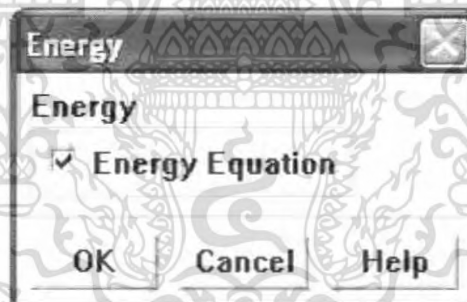


รูปที่ 4.3 การเลือก Version ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

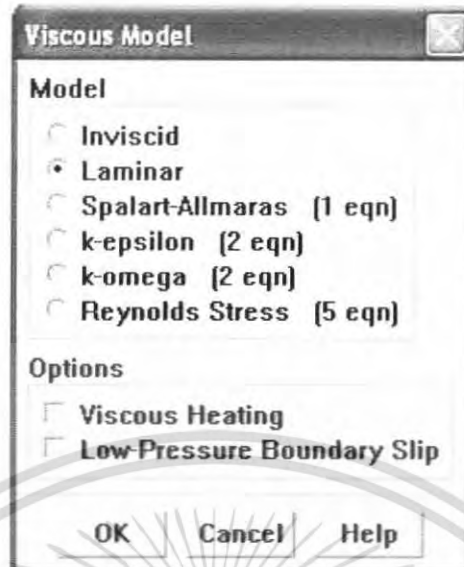


รูปที่ 4.4 การตั้งค่า Solver

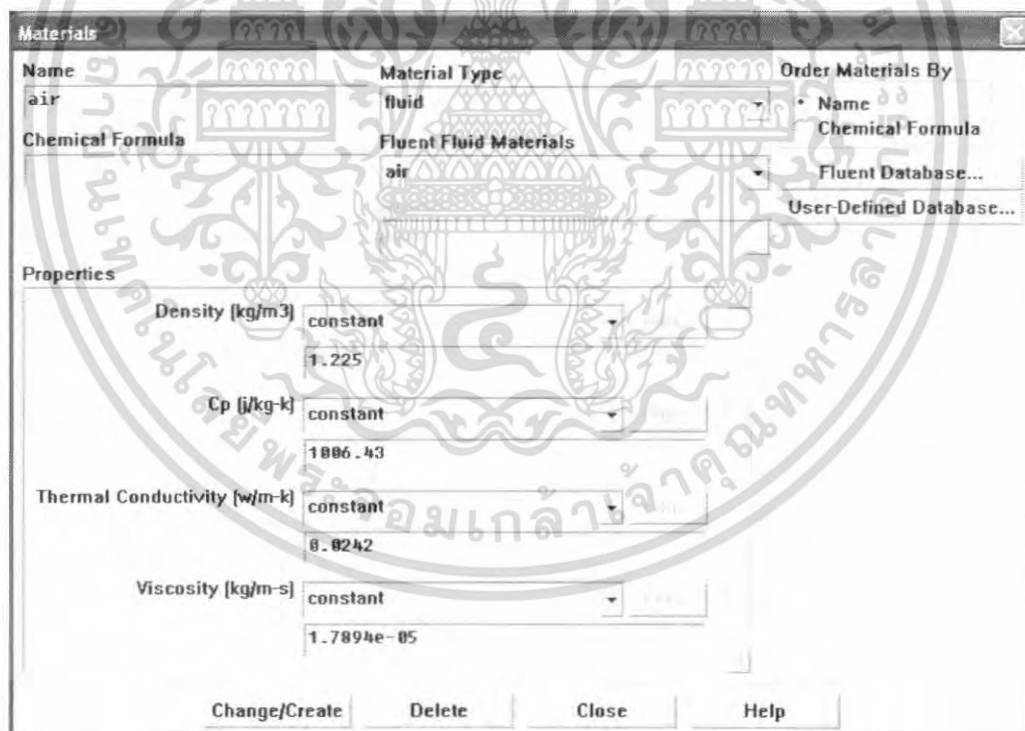


รูปที่ 4.5 ให้มีการกำหนดสมการพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การตั้งค่า Viscous Model

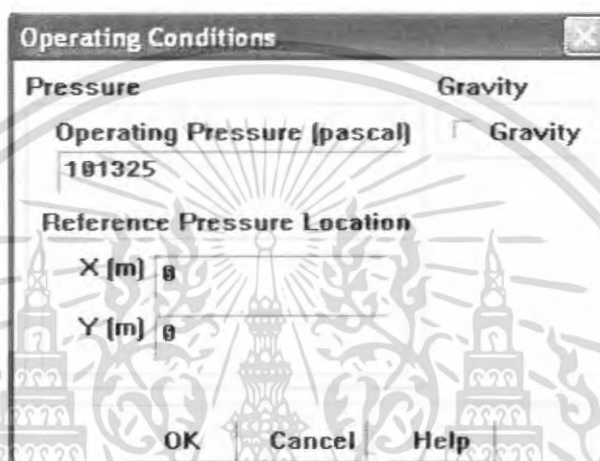


รูปที่ 4.7 แสดงการตั้งค่าคุณสมบัติของการไหล

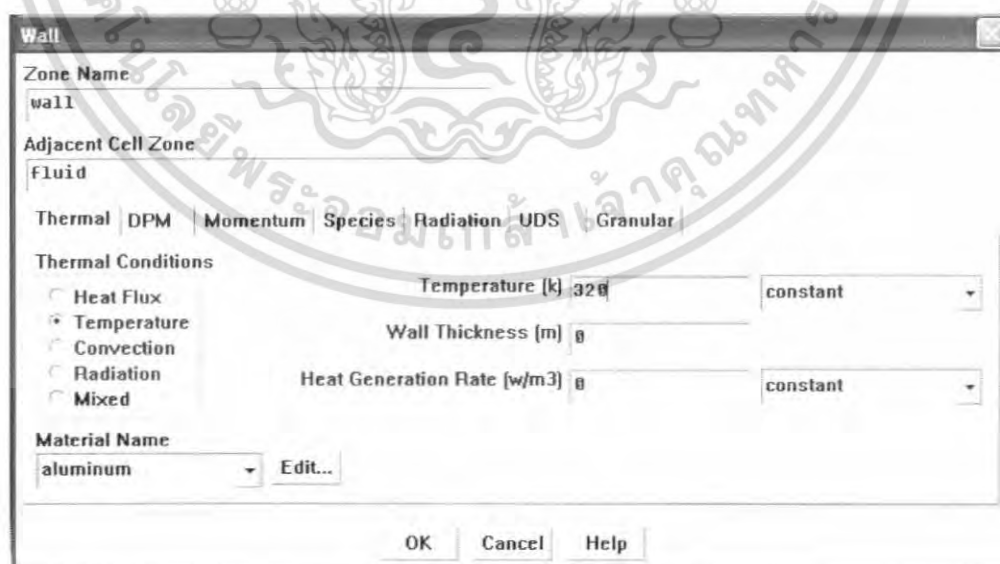
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำหนดเงื่อนไขของการปฏิบัติงานให้มีความดัน 101325 Pa ที่ระยะอ้างอิงที่พิกัด $x=0$ $y=0$ ใน Operating Conditions

7. การปรับค่าคุณสมบัติของผนังให้เลือกผนังชื่อ Wall ในแบบจำลองหลังจากนั้นทำการตั้งค่าของอุณหภูมิให้มีค่า 320 K



รูปที่ 4.8 การกำหนดค่า Operating Conditions



รูปที่ 4.9 การปรับค่าคุณสมบัติของผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การปรับค่า Periodic Conditions โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศให้สอดคล้องกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในช่อง Mass Flow Rate ใน Periodicity Condition โดยให้มีค่าดังตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.10 แสดงการปรับค่า Periodic Conditions

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราการไหลของมวล (kg/s)

Re	Mass Flow rate
400	$1.8460(10^{-3})$
500	$2.3075(10^{-3})$
600	$2.7690(10^{-3})$
700	$3.2305(10^{-3})$
800	$3.6920(10^{-3})$
900	$4.1535(10^{-3})$
1000	$4.6150(10^{-3})$
1100	$5.0765(10^{-3})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตั้งค่า Solution controls ซึ่งกำหนดให้มีการคำนวณสมการพลังงานและสมการโมเมนตัม โดยเลือกการคำนวณเป็นแบบ Second order upwind ในส่วนของ Solution Controls

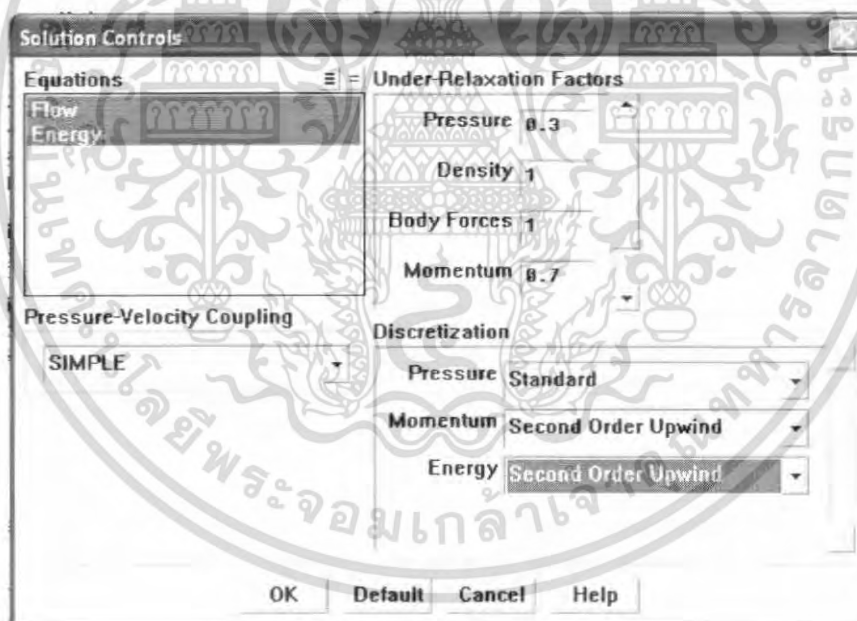
10. การปรับค่า Residual Monitors คือการตั้งจุดสิ้นสุดการคำนวณ ในช่อง Convergence Criterion ให้ค่าเป็น 1×10^{-6}

11. ค่าเริ่มต้นโดยความดันให้ เป็น 0 Pa ความเร็วแกน x เป็น 0 m/s ความเร็วแกน y เป็น 0 m/s และอุณหภูมิมีค่าเป็น 310 K

12. เริ่มคำนวณสมการ โดยใช้วิธีการทำซ้ำจนกว่าผลการคำนวณจะลู่เข้าหากำหนด

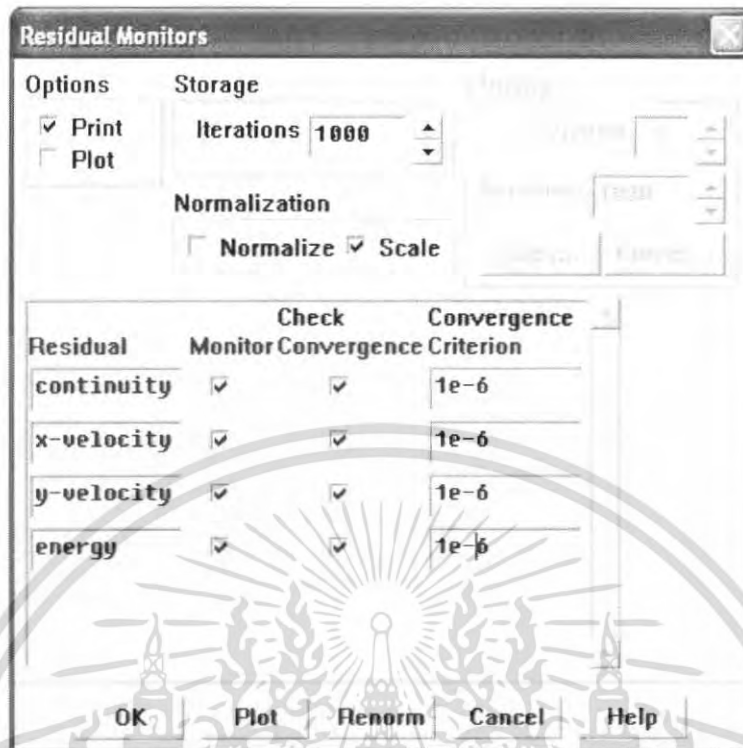
13. แสดงการรายงานผลโดยเลือกให้มีการรายงานผลในส่วนของ Heat Flux และ Pressure

Gradient

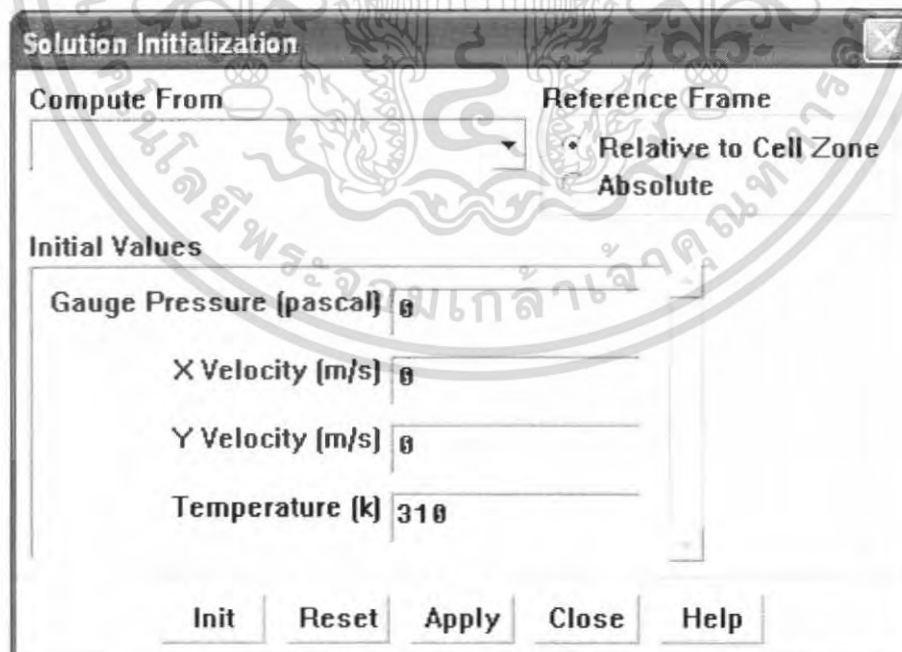


รูปที่ 4.11 แสดงการกำหนดค่า Solution Controls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

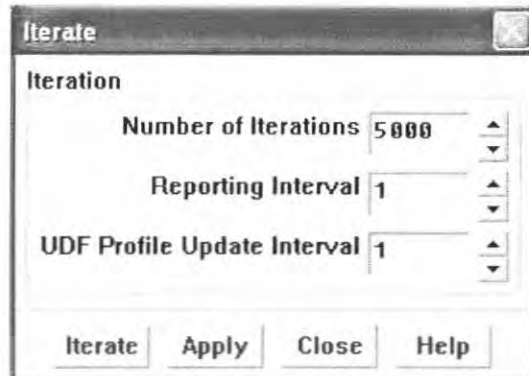


รูปที่ 4.12 แสดงการปรับค่า Residual Monitors

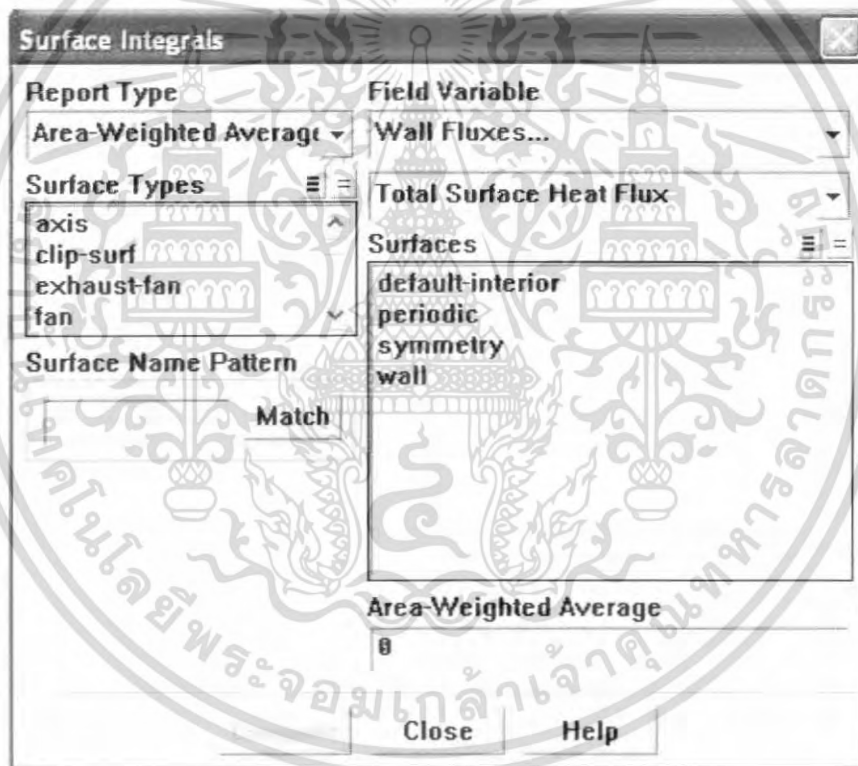


รูปที่ 4.13 การเดาค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงหน้าต่างที่เริ่มการคำนวณ



รูปที่ 4.15 แสดงการรายงานผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายภายในช่องขนานที่มีครีบริปสามเหลี่ยม ในตอนแรกจะเป็นการเปรียบเทียบผลจากการจำลองการทำงาน โดยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลและทฤษฎี จากนั้นนำเสนอผลการจำลองเปรียบเทียบในกรณีที่มีระยะพิดเท่ากันแต่ระยะความกว้างฐานครีบริปต่างกัน สุดท้ายจะนำเสนอผลจำลองเปรียบเทียบในกรณีที่มีระยะความกว้างฐานครีบริปเท่ากันแต่ระยะพิดต่างกันตามลำดับ

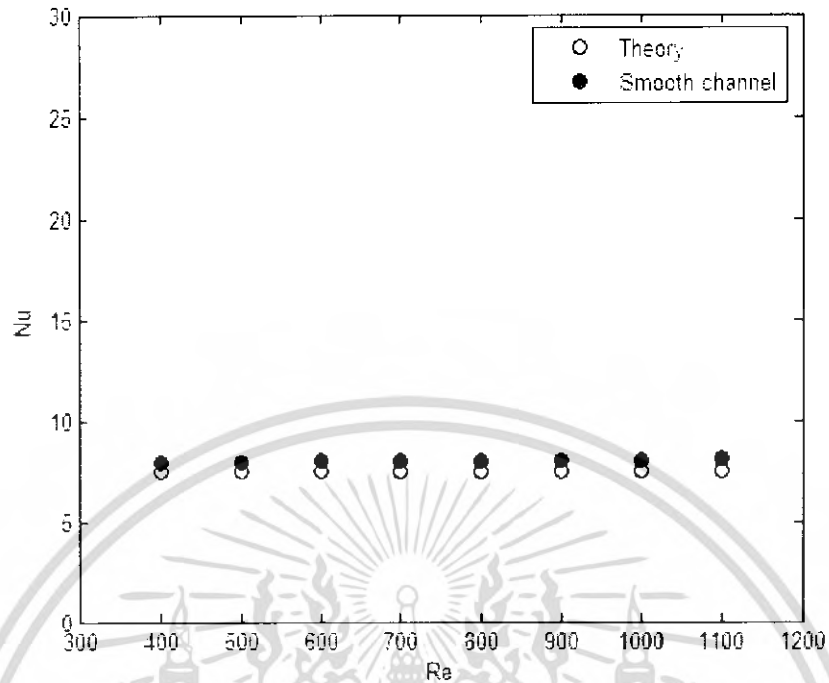
5.1 กรณีช่องขนานผิวเรียบ

เริ่มต้นจะนำผลที่ได้มาจากการจำลองการทำงานนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีในกรณีที่ช่องขนานมีผิวเรียบ โดยให้ความสนใจที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ผลจากการเปรียบเทียบนี้จะนำมาประเมินผลเพื่อหาความเหมาะสมน่าเชื่อถือของการจำลองการทำงาน ผลการเปรียบเทียบ มีดังต่อไปนี้

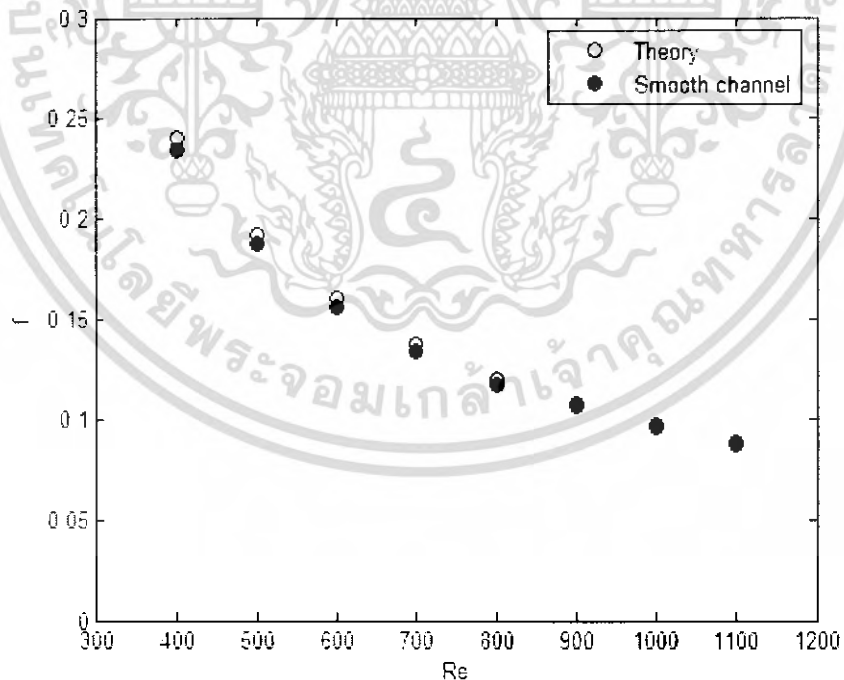
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและได้จากทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 6.28%

รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียหายของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและที่ได้จากทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 1.80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานผิวเรียบ



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการทำงาน และค่าที่ได้จากทางทฤษฎีของช่องขนาน ผิวเรียบแล้วนั้นจะพบว่ามีความโน้มและมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานนี้มาใช้อ้างอิงและวิเคราะห์ผลได้แม่นยำพอสมควร

5.2 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน (P/D) ที่มีค่าคงที่เท่ากับ 1 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน คงที่เท่ากับ 1 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน (B/D) เพื่อหาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนาน ผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 13.236, 11.977 และ 11.325 ตามลำดับ

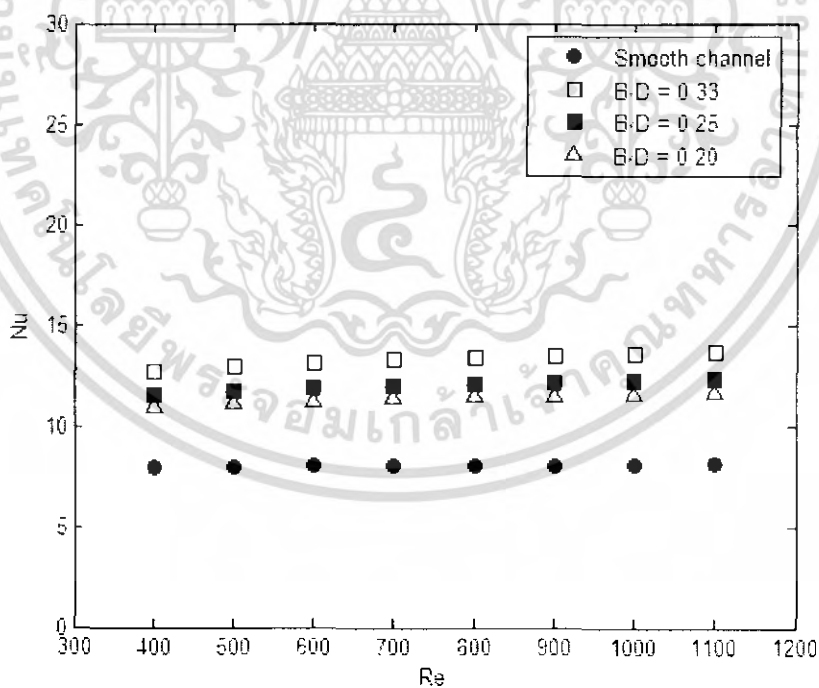
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ (Nu/Nu_0) โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.651, 1.494 และ 1.413 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

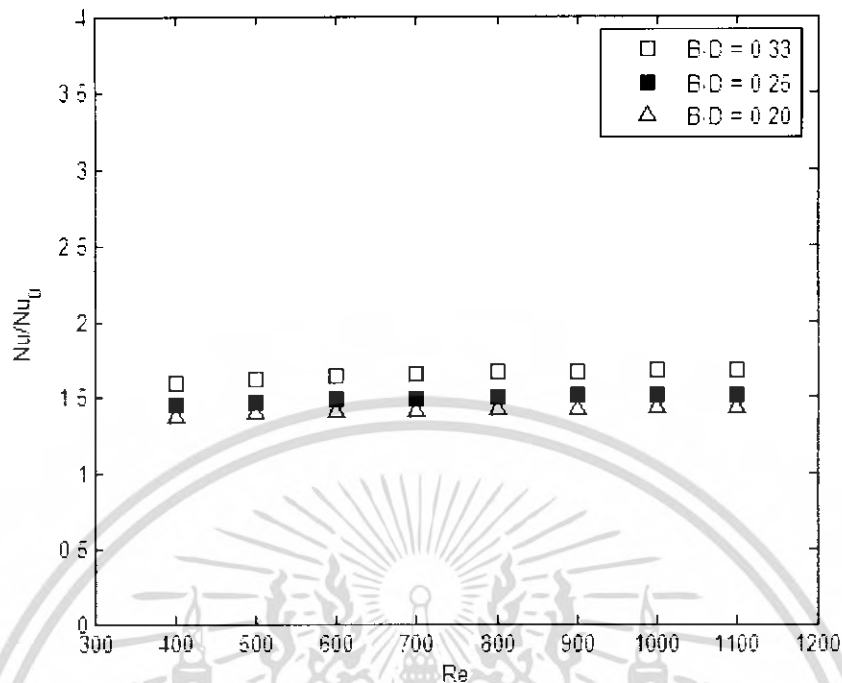
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์คนัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบท่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ (f/f_0) โดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์คนัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10.611, 7.599 และ 6.243 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์คนัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบท่อโดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์คนัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.751, 0.760 และ 0.767 ตามลำดับ

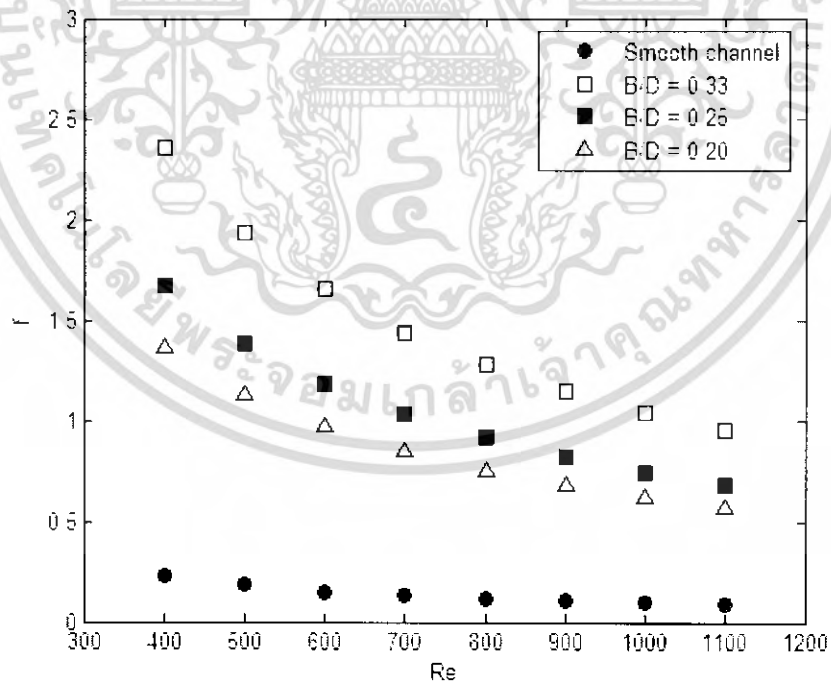


รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี P/D = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

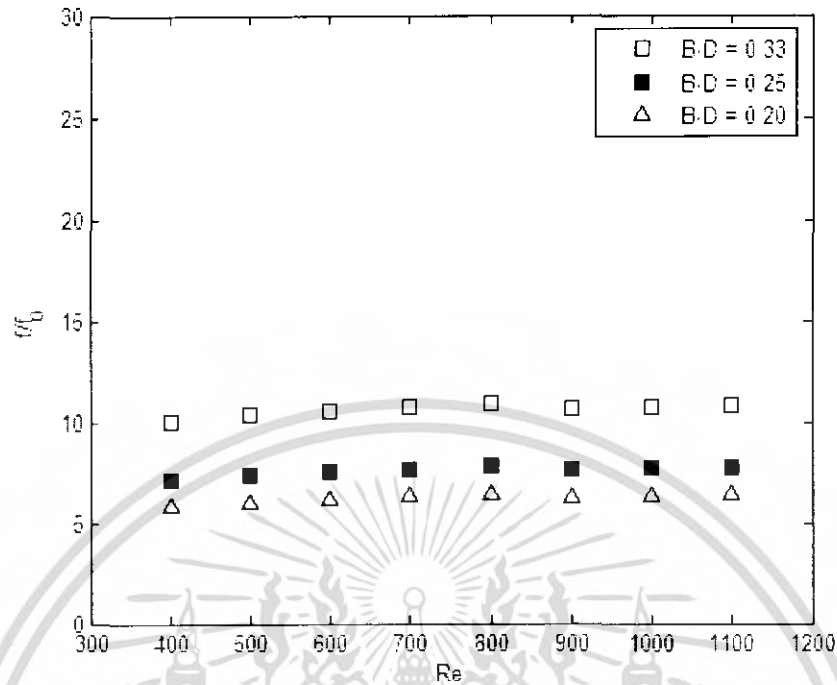


รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 1$

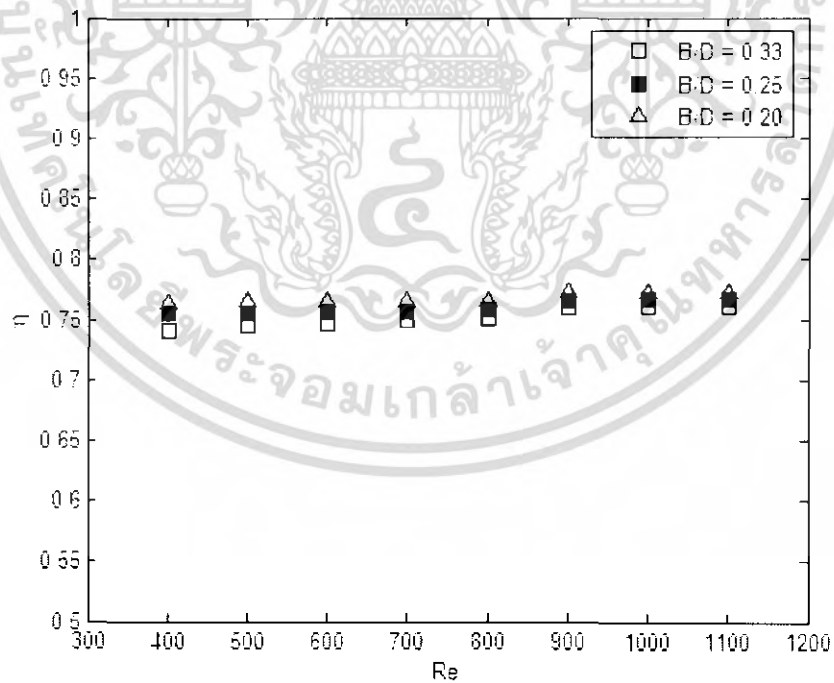


รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี P/D = 1



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี P/D = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 1 เท่า นั้นการมีครีบริบจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 41% ถึง 65% ในขณะเดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 524% ถึง 961%

5.3 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 2 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน คงที่เท่ากับ 2 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเพื่อหาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยม ได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 12.017, 10.965 และ 10.354 ตามลำดับ

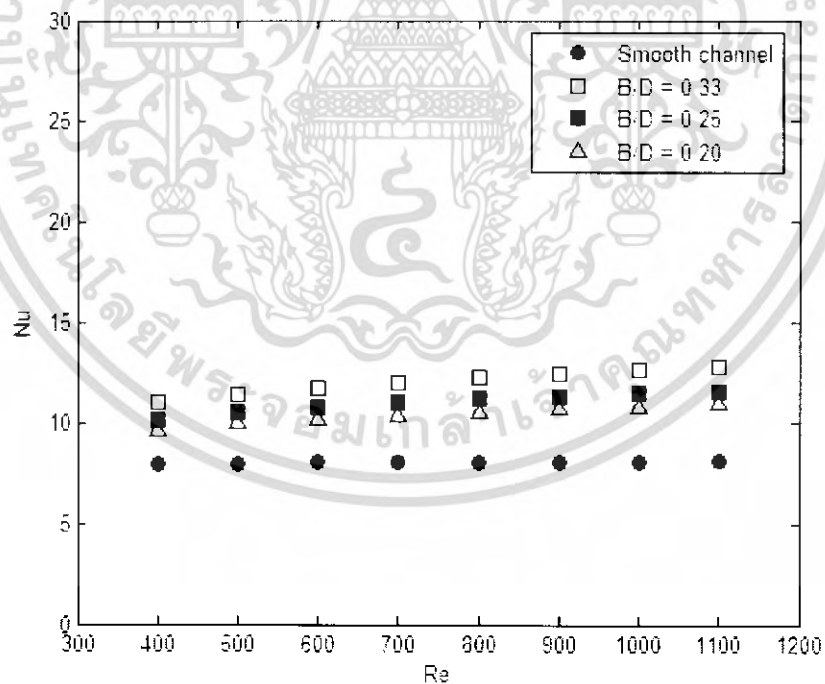
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.499, 1.367 และ 1.291 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบโดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

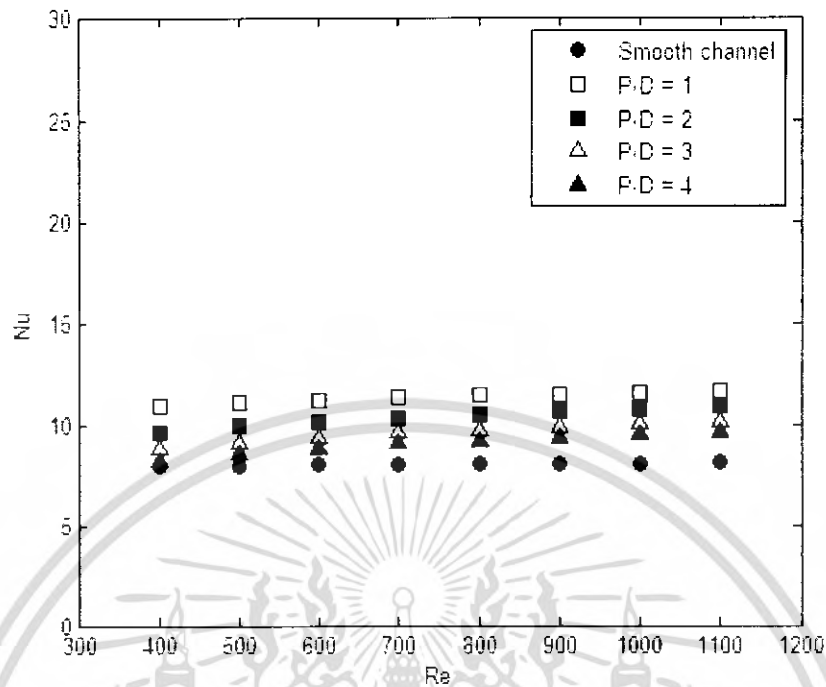
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์สกับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบท่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์สที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 9.461, 6.508 และ 5.186 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์สกับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบท่อ โดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์สที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.709, 0.733 และ 0.746 ตามลำดับ

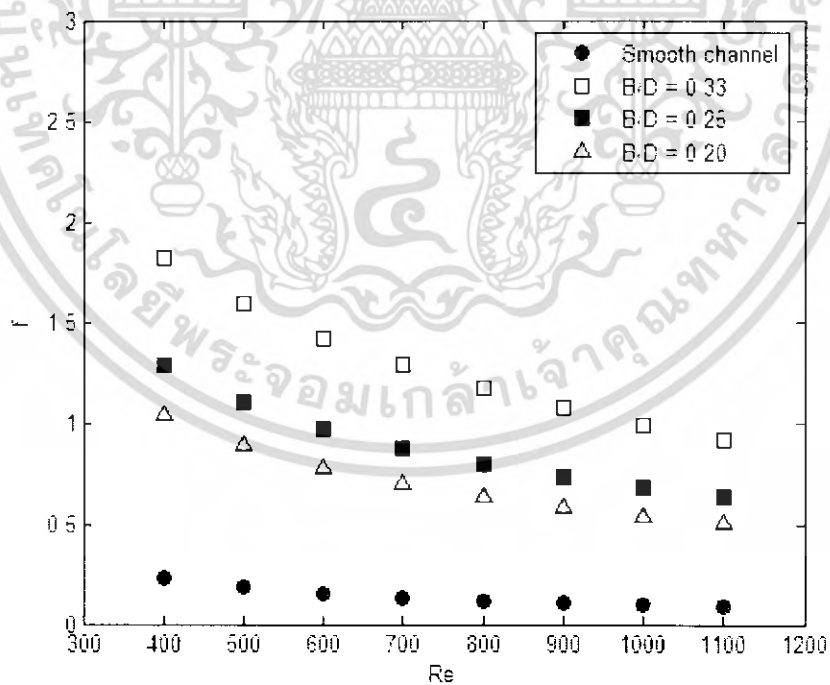


รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

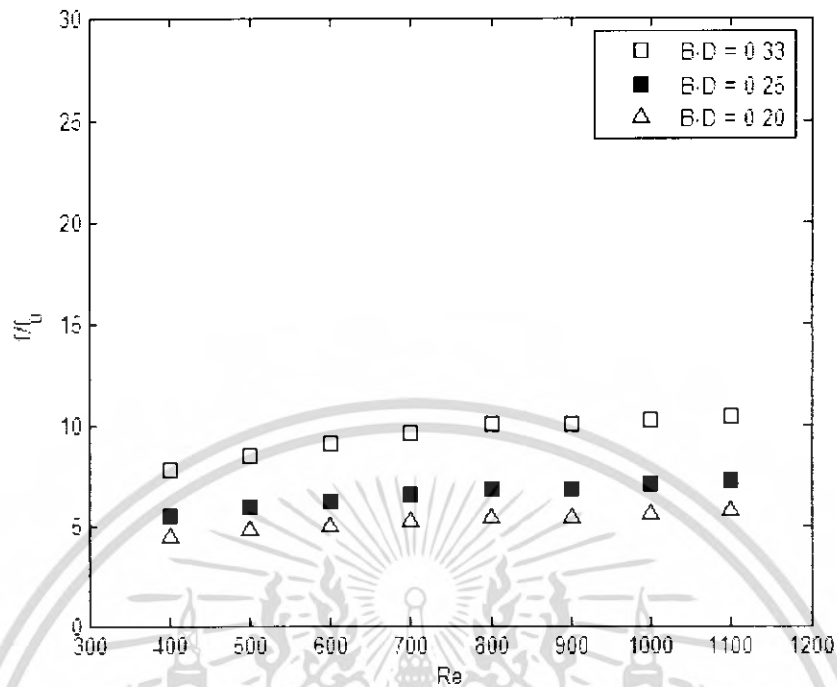


รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 2$

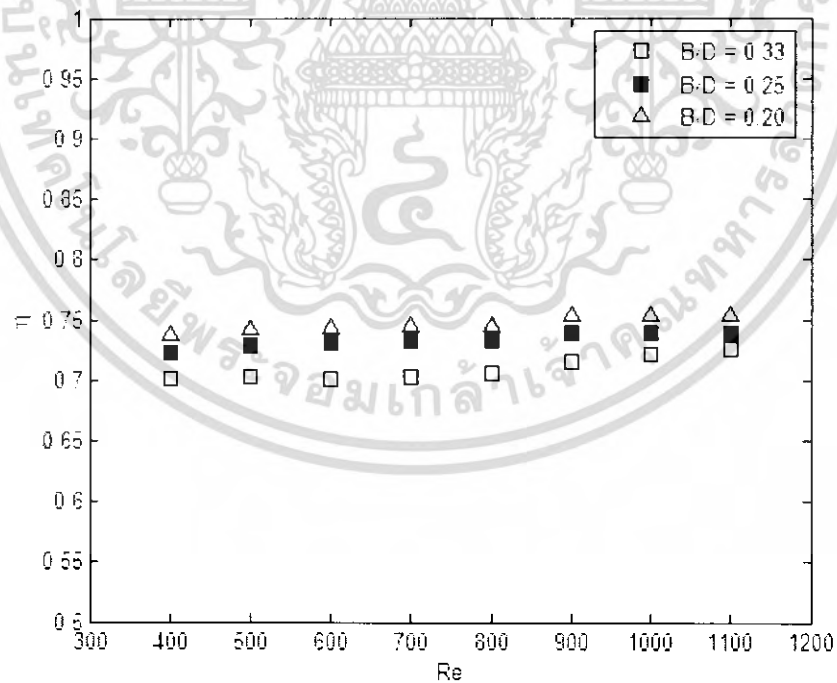


รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 2$



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 2 เท่า นั้นการมีครีบริบจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 29% ถึง 49% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 418% ถึง 846%

5.4 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 3 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน คงที่เท่ากับ 3 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเพื่อหาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่า นัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่า นัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 10.749, 9.991 และ 9.570 ตามลำดับ

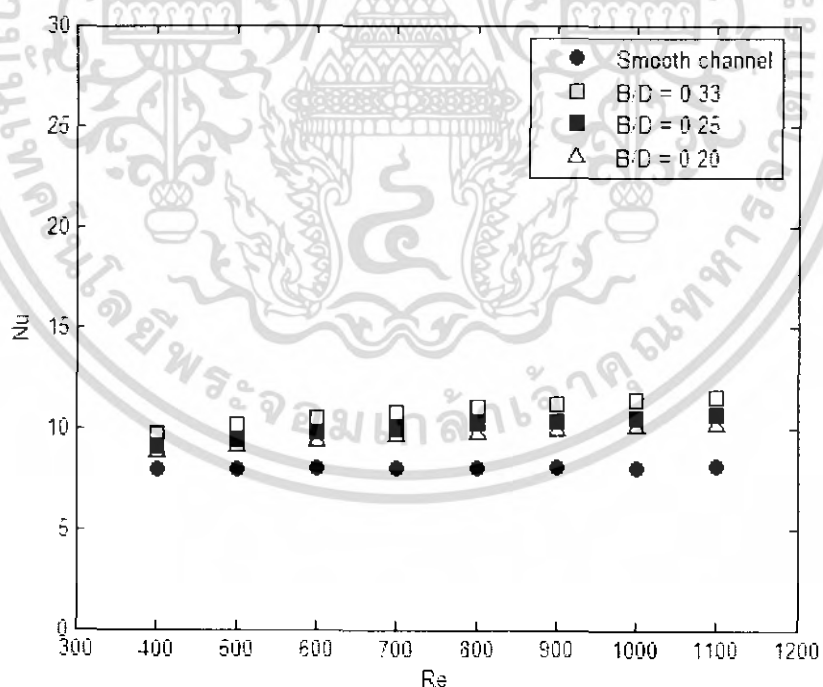
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อ นัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.340, 1.246 และ 1.193 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

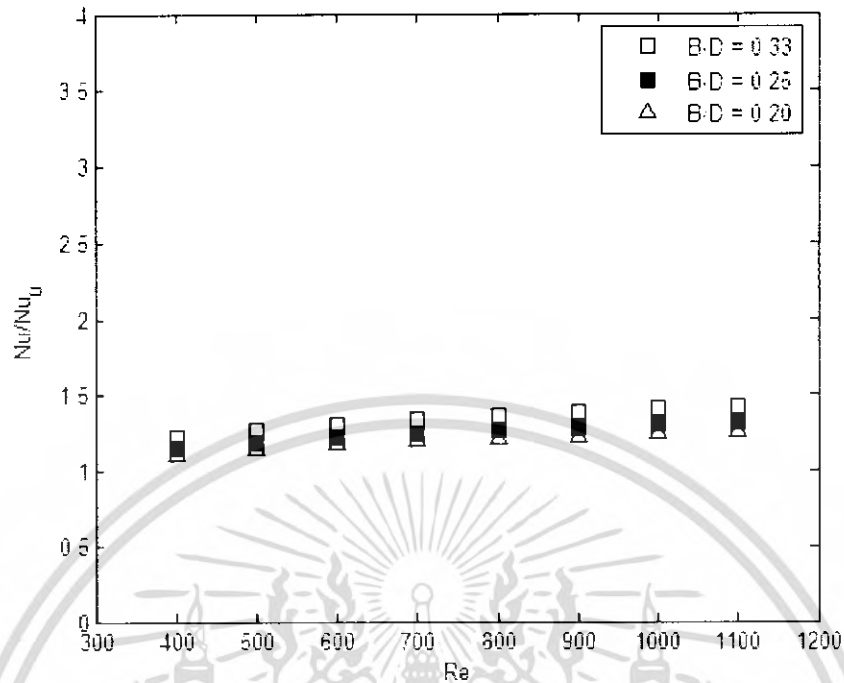
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบท่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่ออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 7.862, 5.370 และ 4.315 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบท่อ โดยความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าความกว้างฐานครีบท่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.675, 0.712 และ 0.733 ตามลำดับ

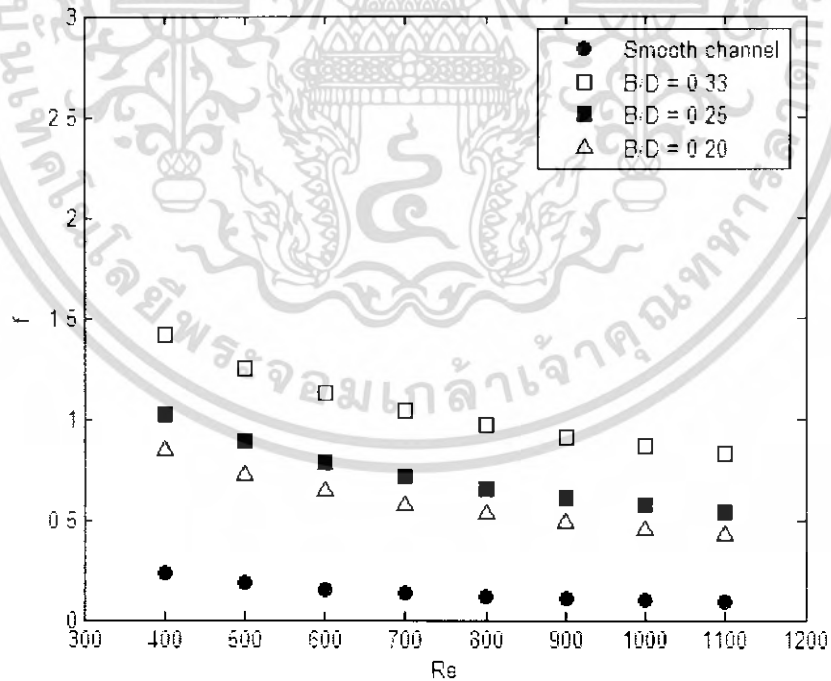


รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

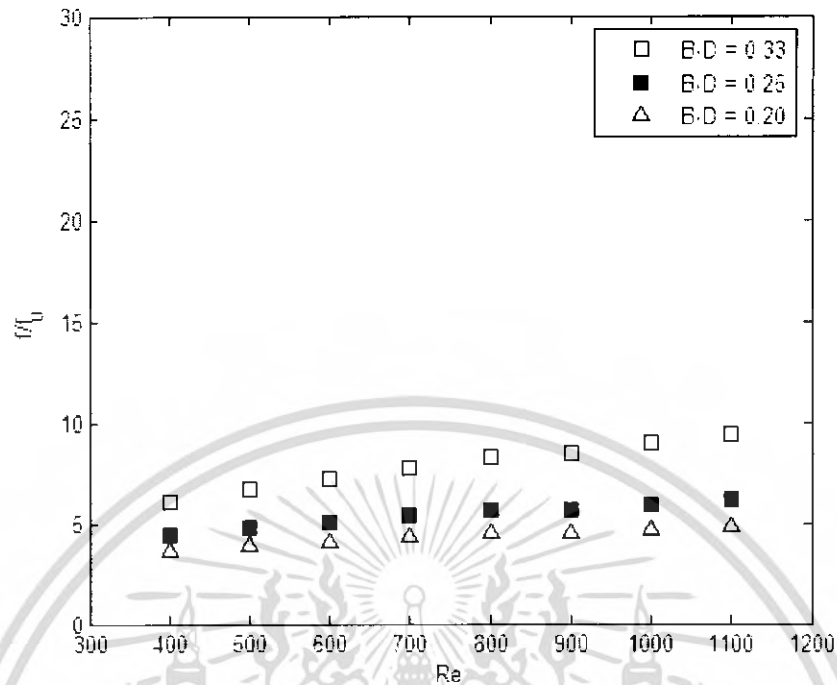


รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D=3$

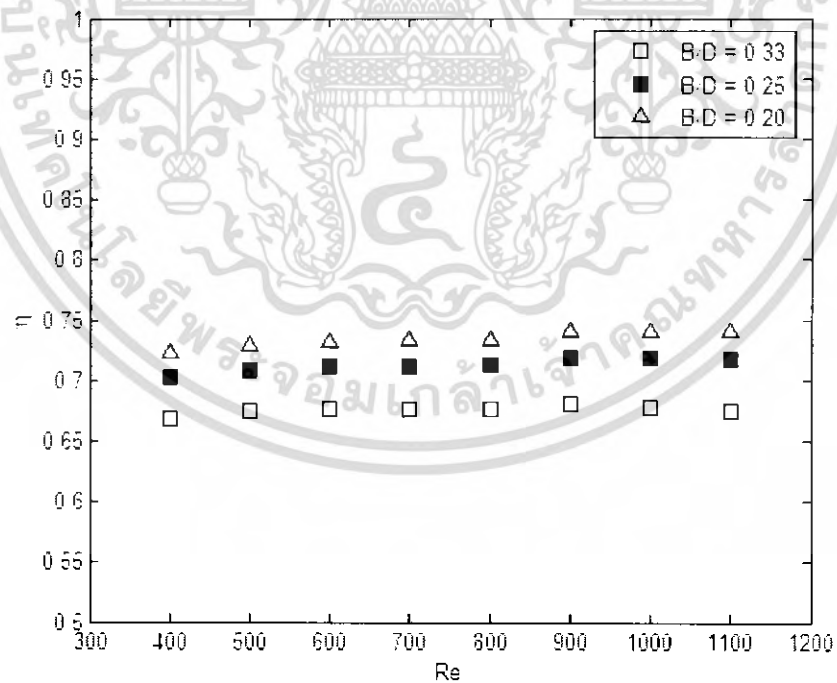


รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D=3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $P/D = 3$



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $P/D = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 3 เท่า นั้นการมีครีบริบจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 19% ถึง 34% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 331% ถึง 686%

5.5 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่มีค่าคงที่เท่ากับ 4 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน คงที่เท่ากับ 4 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเพื่อหาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์คนัมเบอร์กับนัทเชิร์ทนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์คนัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ทนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ทนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 9.829, 9.338 และ 9.037 ตามลำดับ

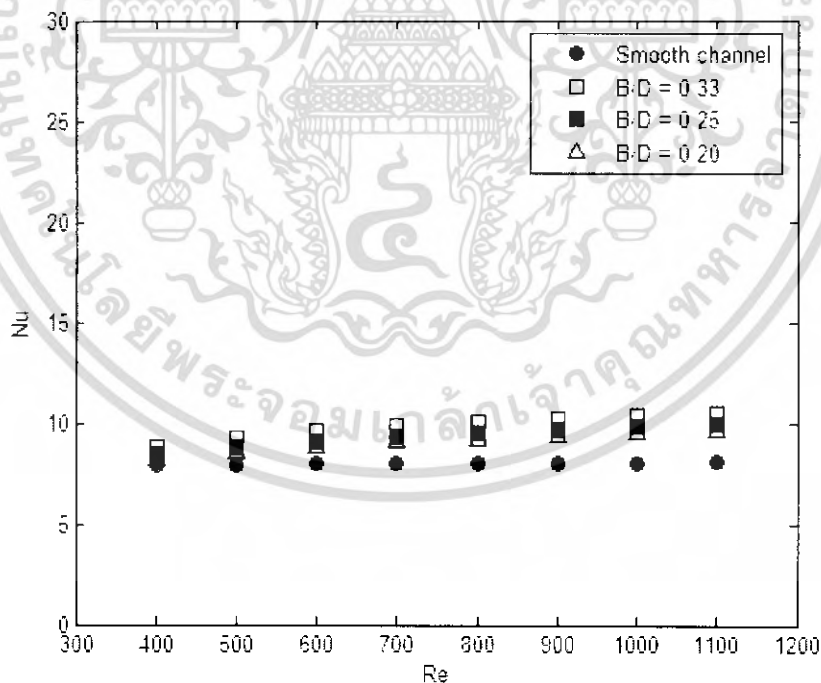
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์คนัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ทนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อนัทเชิร์ทนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์คนัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ทนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ทนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.226, 1.164 และ 1.127 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์คนัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์คนัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

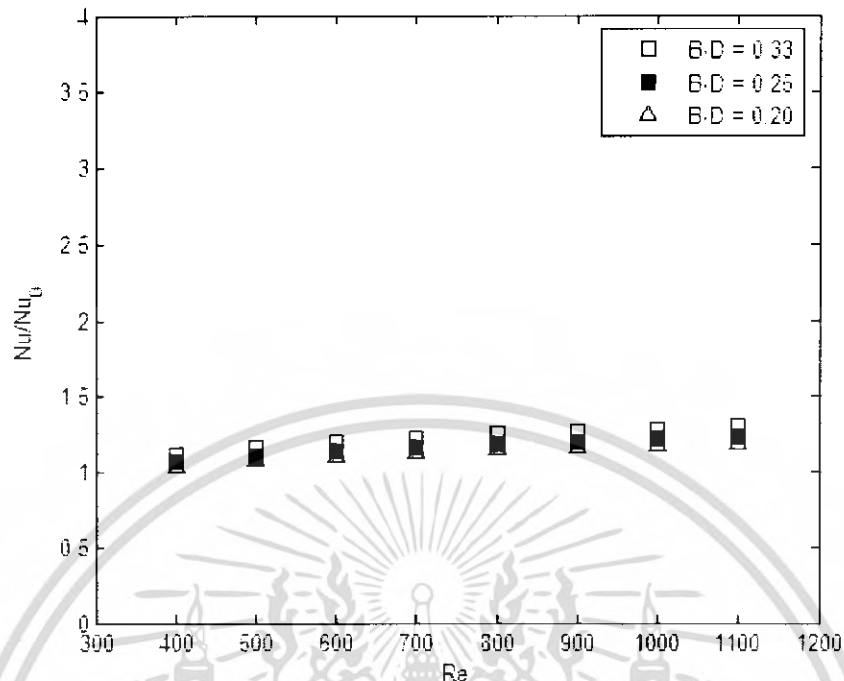
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานคดกริบต่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานกริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่ออัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าความกว้างฐานกริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 6.523, 4.584 และ 3.734 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีกริบ โดยความกว้างฐานกริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าความกว้างฐานกริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.657, 0.702 และ 0.727 ตามลำดับ

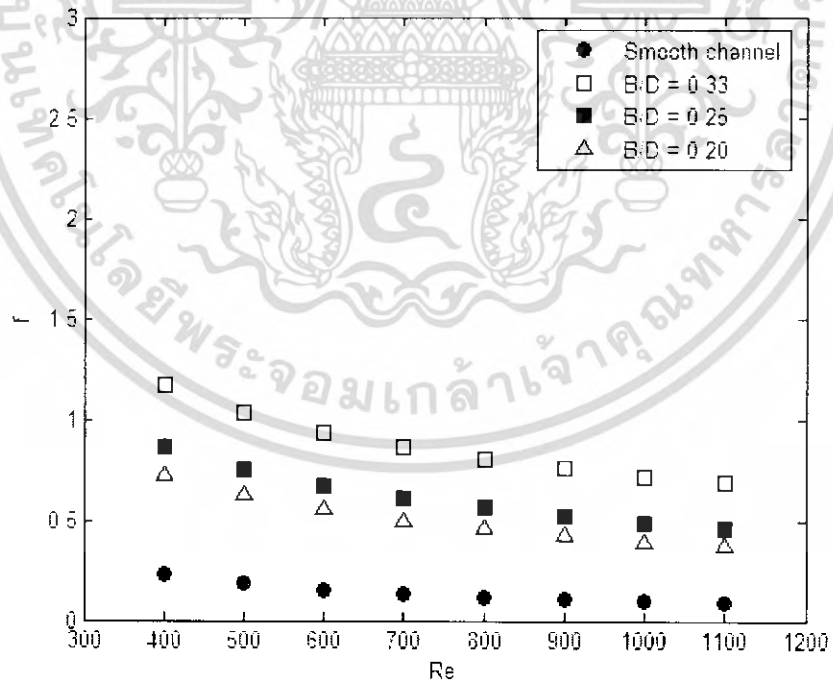


รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $P/D = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

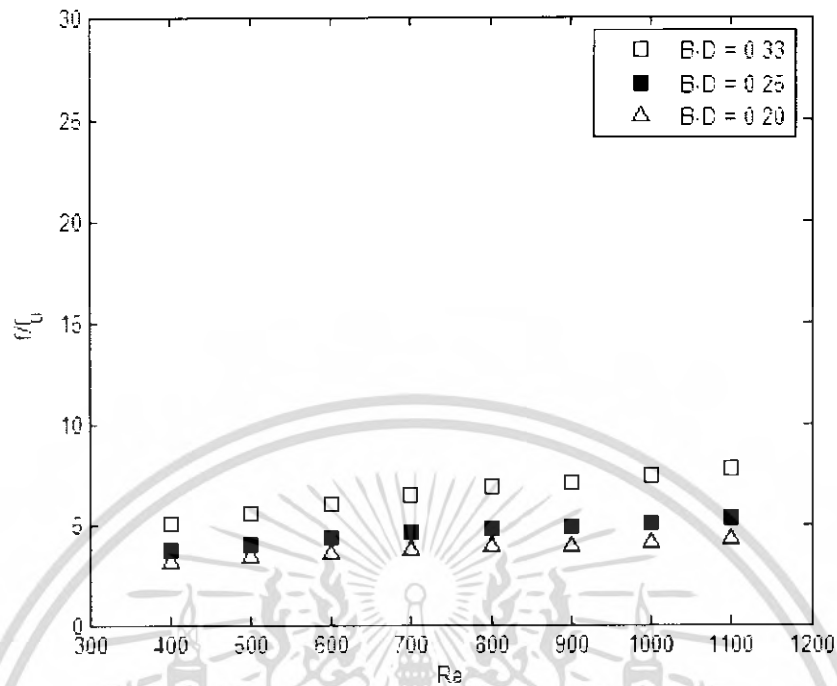


รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $P/D = 4$

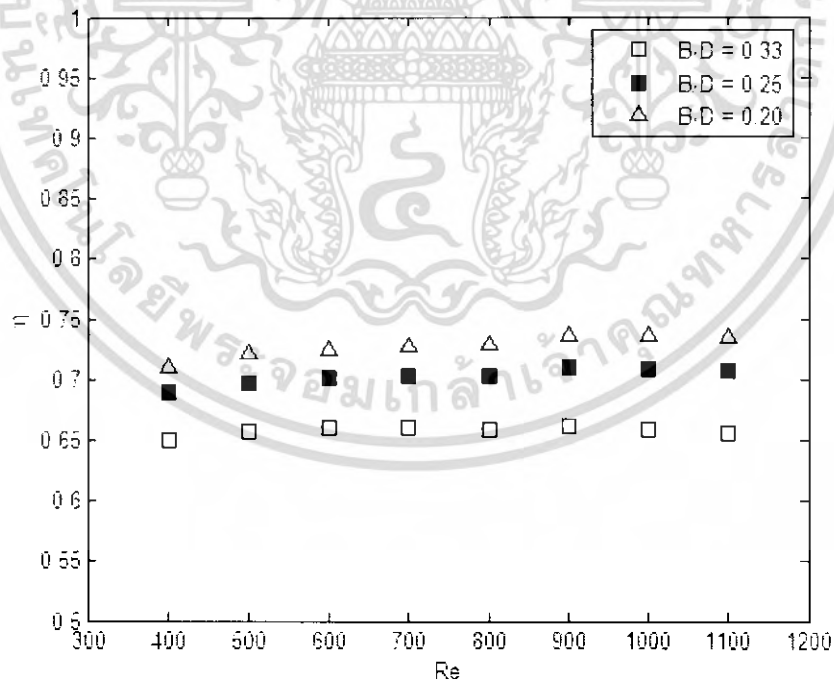


รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $P/D = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี P/D = 4



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี P/D = 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่มีระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 4 เท่า นั้นการมีครีบริบจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 12% ถึง 22% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 273% ถึง 552%

5.6 ช่องขนานมีครีบริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงระยะพิศต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เพื่อหาอิทธิพลของระยะพิศของครีบริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิศต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 13.236, 12.017, 10.749 และ 9.829 ตามลำดับ

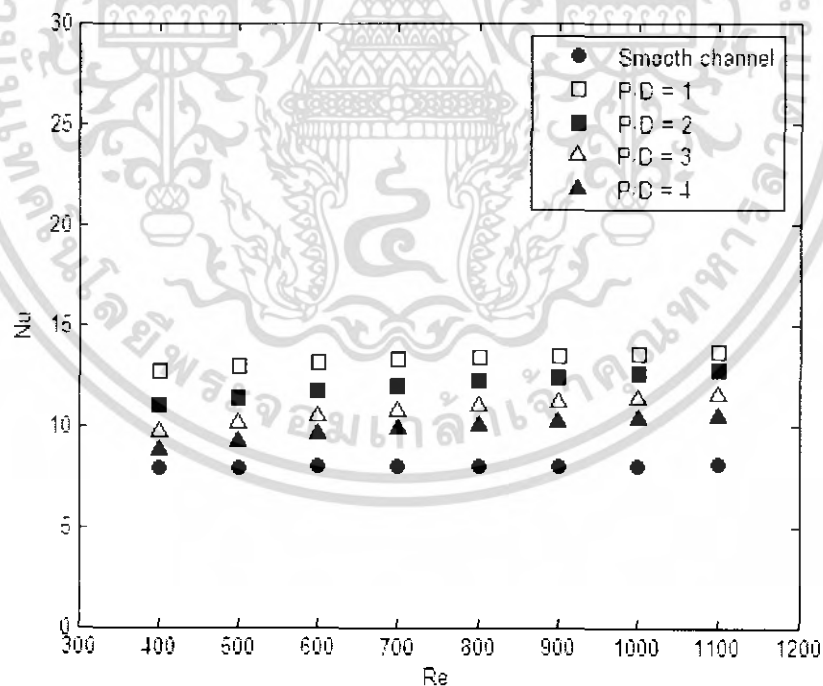
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยซึ่งระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิศต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเป็น 1.651, 1.499, 1.340 และ 1.226 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบ โดยระยะพิศต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งระยะพิศต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

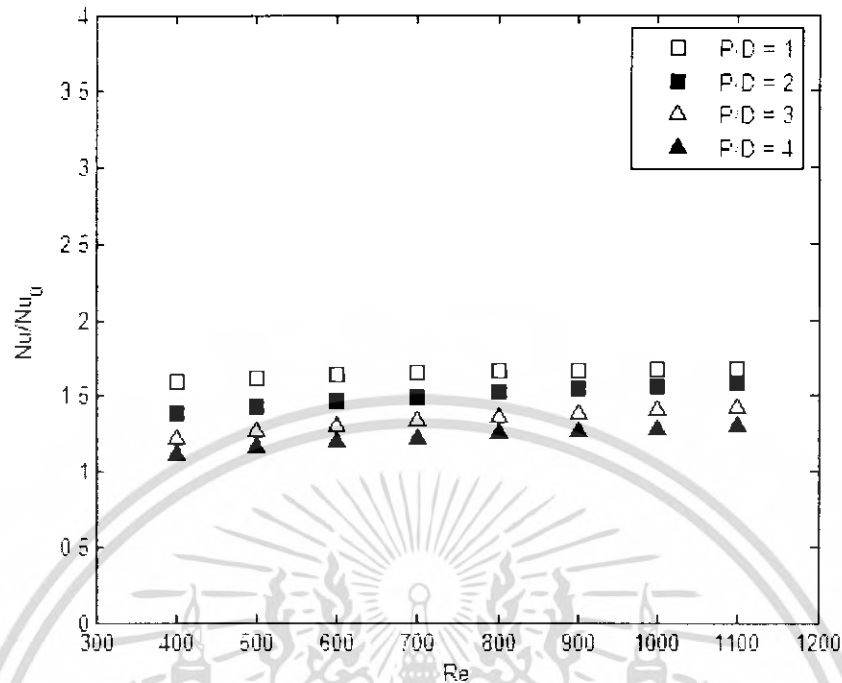
รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบท่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่าซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลงเป็น 10.611, 9.461, 7.862 และ 6.523 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบท่อโดยระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าระยะพิตของครีบท่อต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.751, 0.709, 0.675 และ 0.657 ตามลำดับ

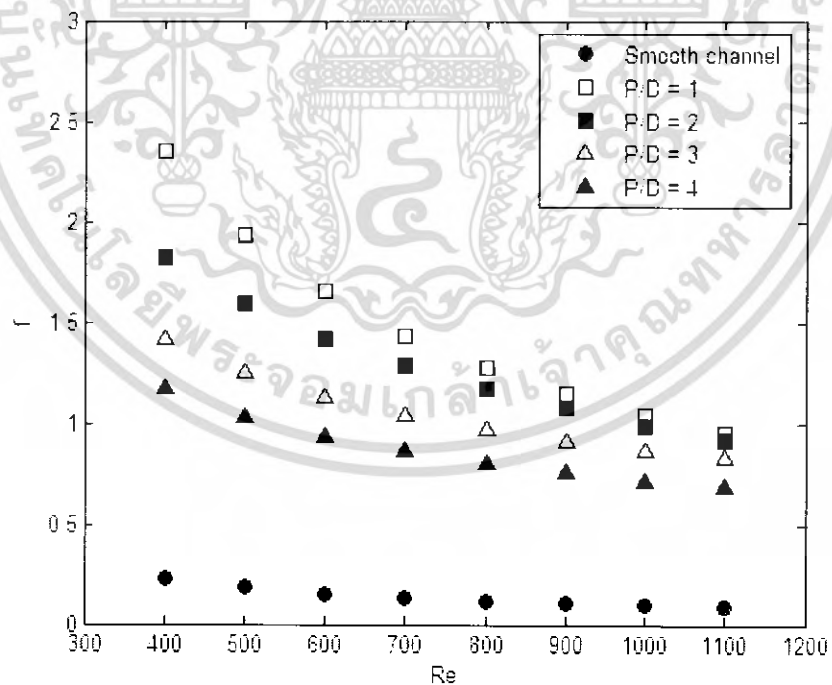


รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี $B/D = 0.33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

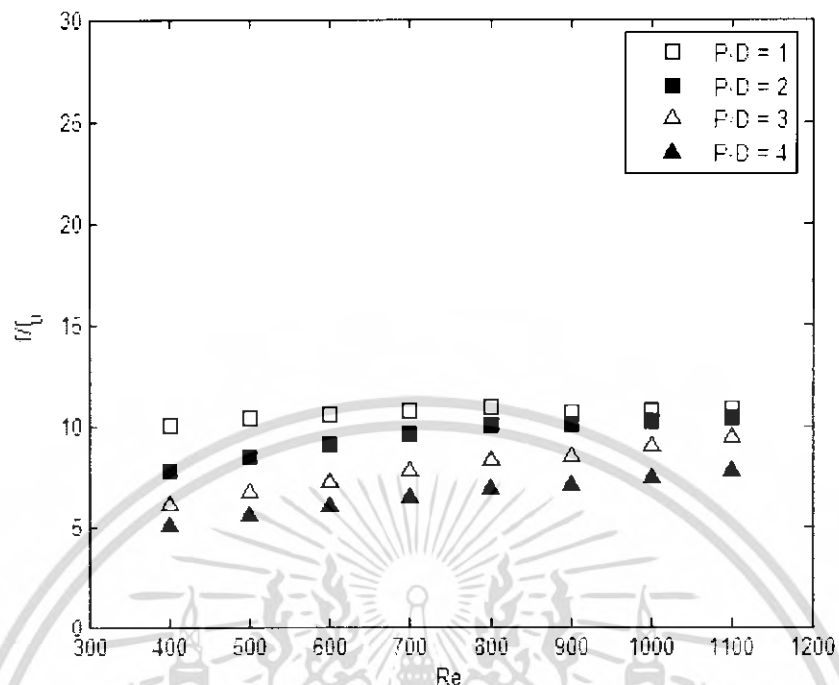


รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $B/D = 0.33$

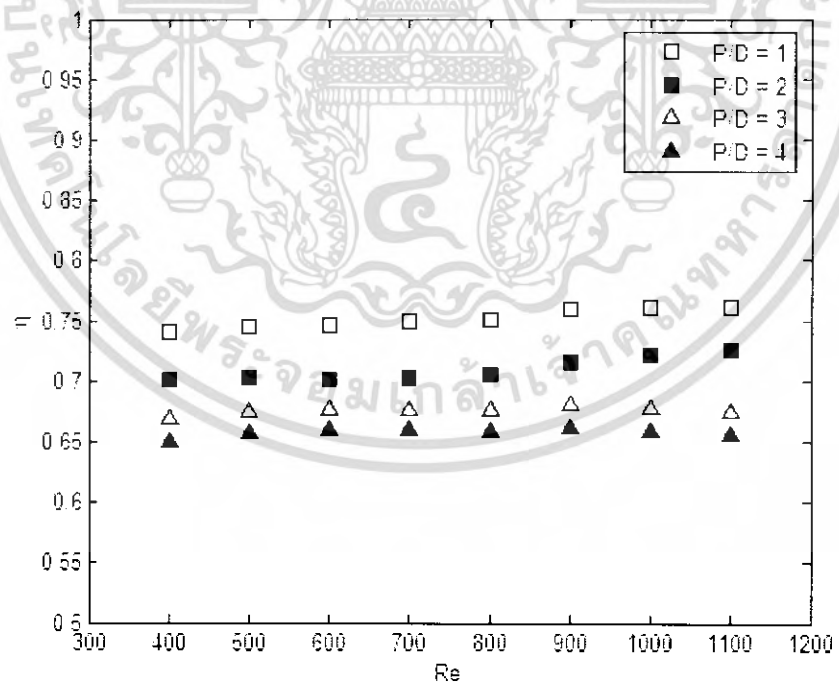


รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี B/D = 0.33



รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี B/D = 0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า นั้นการมีครีบริปจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 22% ถึง 65% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียหายเพิ่มขึ้นประมาณ 552% ถึง 961%

5.7 ช่องขนานมีครีบริปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.25 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.25 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงระยะพิคต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เพื่อหาอิทธิพลของระยะพิคของครีบริปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริปซึ่งระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิคต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 11.977, 10.965, 9.991 และ 9.338 ตามลำดับ

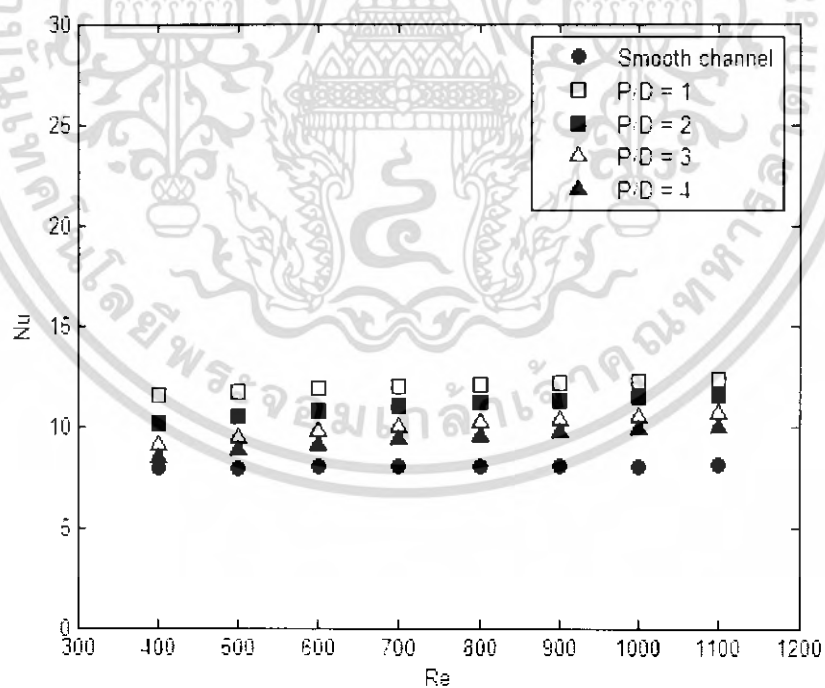
รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริปต่อนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยซึ่งระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิคต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเป็น 1.494, 1.367, 1.246 และ 1.164 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียหายของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริปโดยระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียหายมีค่าลดลง อีกทั้งระยะพิคต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียหายมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

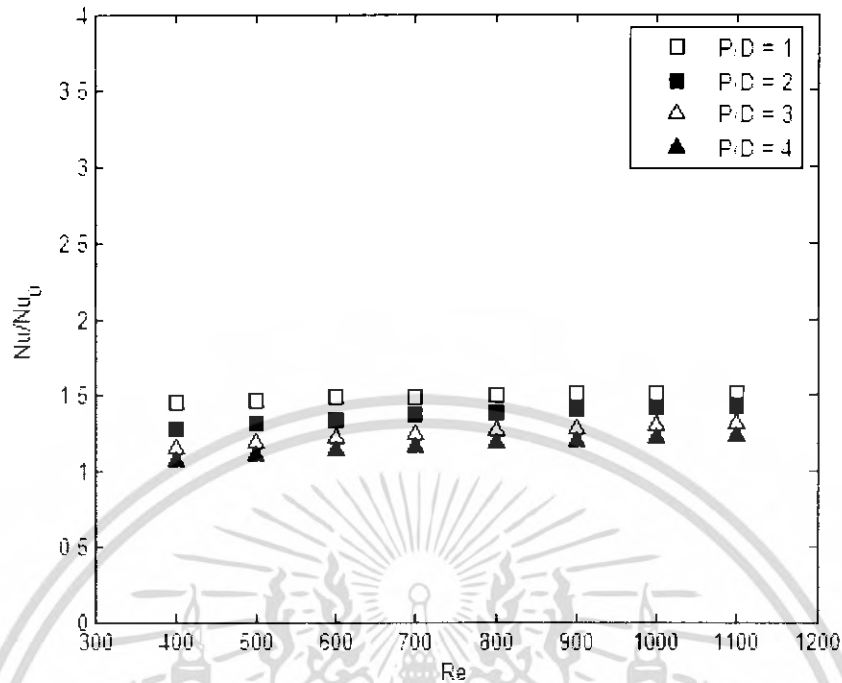
รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดกริบต่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยระยะพิทต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่าซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าระยะพิทต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลงเป็น 7.599, 6.508, 5.370 และ 4.584 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีกริบ โดยระยะพิทต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าระยะพิทของกริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.760, 0.733, 0.712 และ 0.702 ตามลำดับ

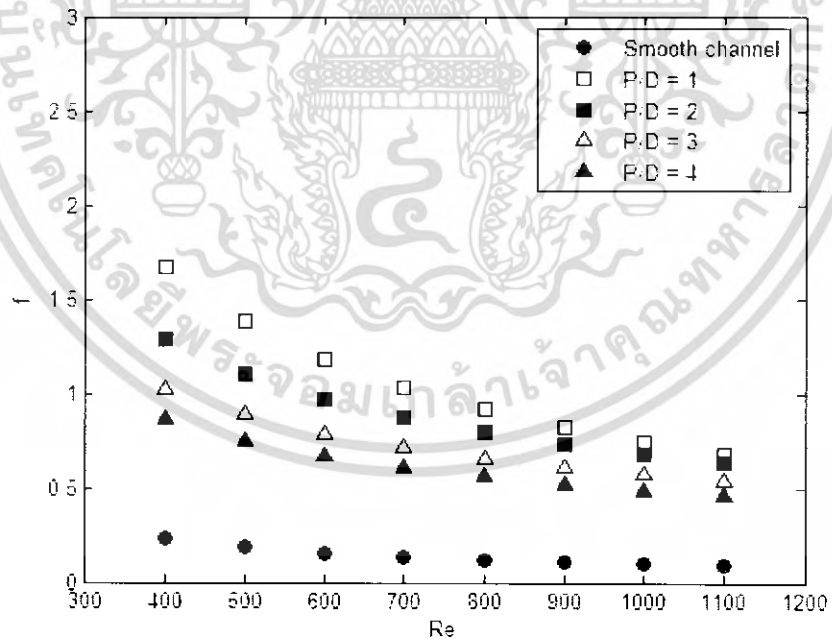


รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี B/D = 0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

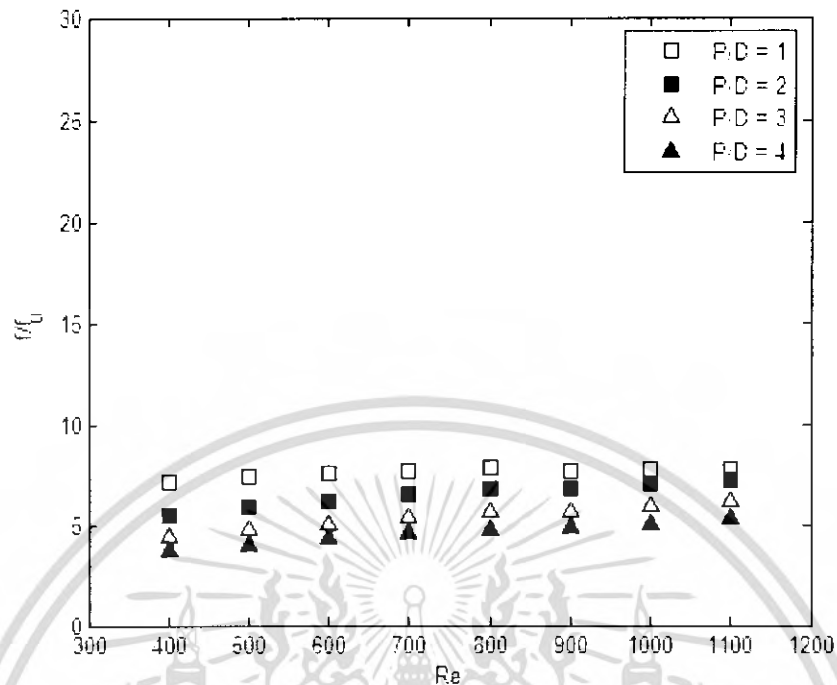


รูปที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $B/D = 0.25$

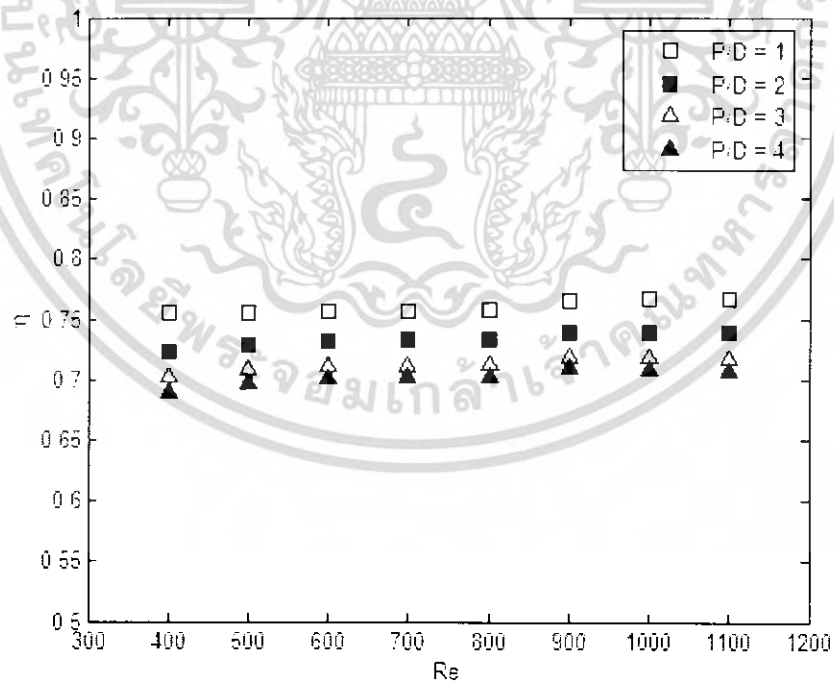


รูปที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $B/D = 0.25$



รูปที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $B/D = 0.25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีคิริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานคิริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.25 เท่า นั้นการมีคิริบจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 16% ถึง 49% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 358% ถึง 659%

5.8 ช่องขนานมีคิริบรูปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานคิริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.20 เท่า

จากผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีความกว้างฐานคิริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.20 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เพื่อหาอิทธิพลของระยะพิตของคิริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีคิริบซึ่งระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่านัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 11.325, 10.354, 9.570 และ 9.037 ตามลำดับ

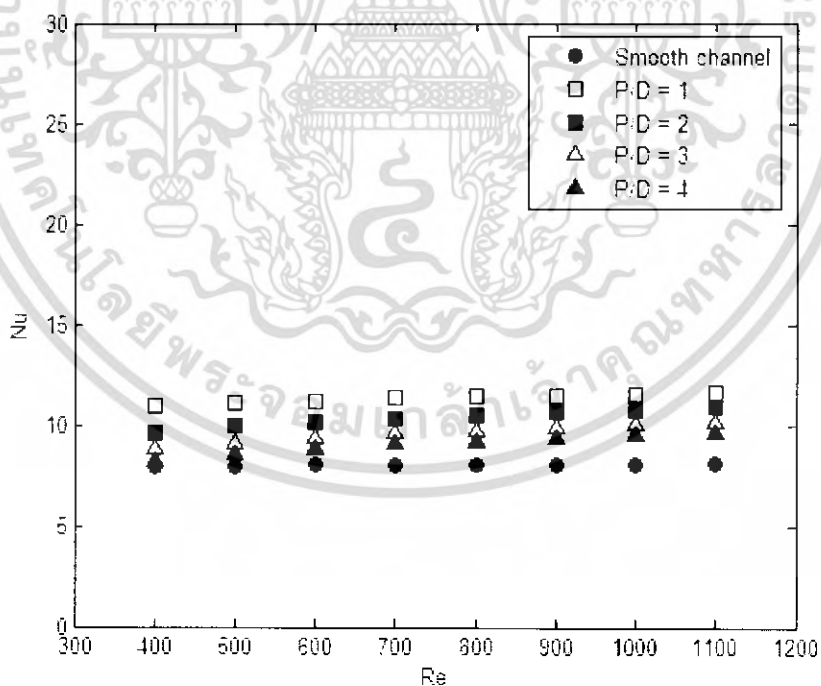
รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีคิริบต่อนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยซึ่งระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเป็น 1.413, 1.291, 1.193 และ 1.127 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีคิริบโดยระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

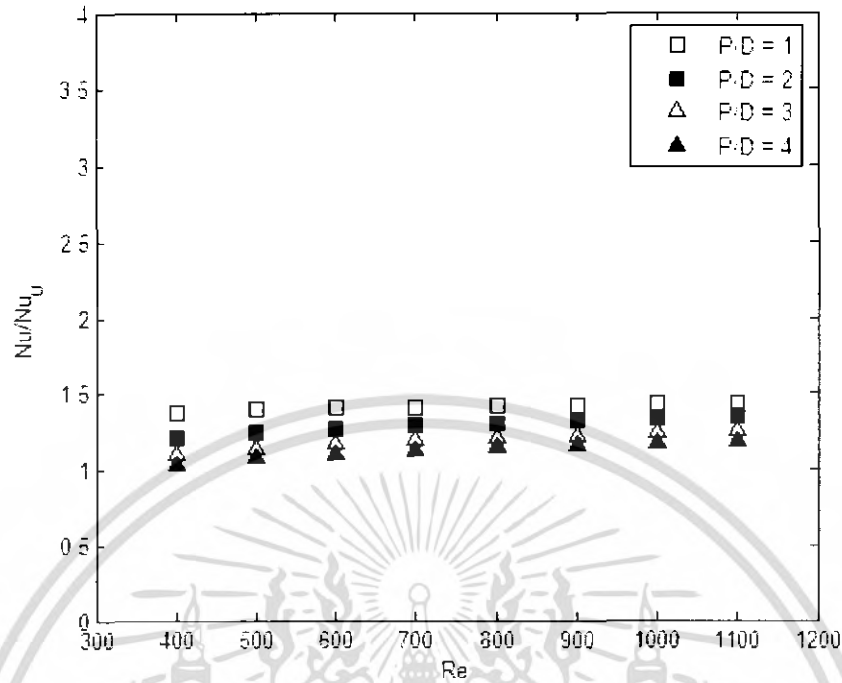
รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบต่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่าซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลงเป็น 6.243, 5.186, 4.315 และ 3.734 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบ โดยระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าระยะพิตของครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.767, 0.746, 0.733 และ 0.727 ตามลำดับ

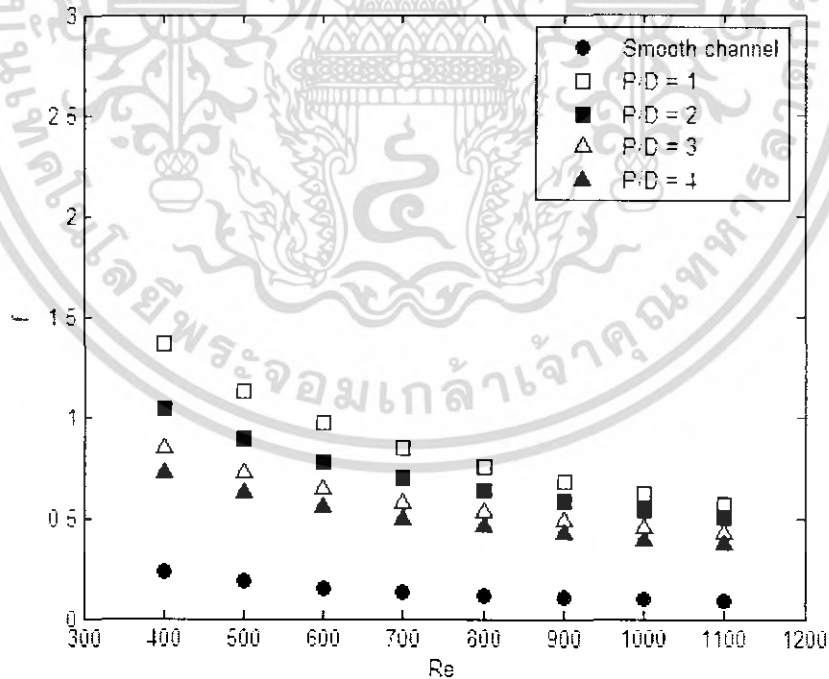


รูปที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu กรณี B/D = 0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

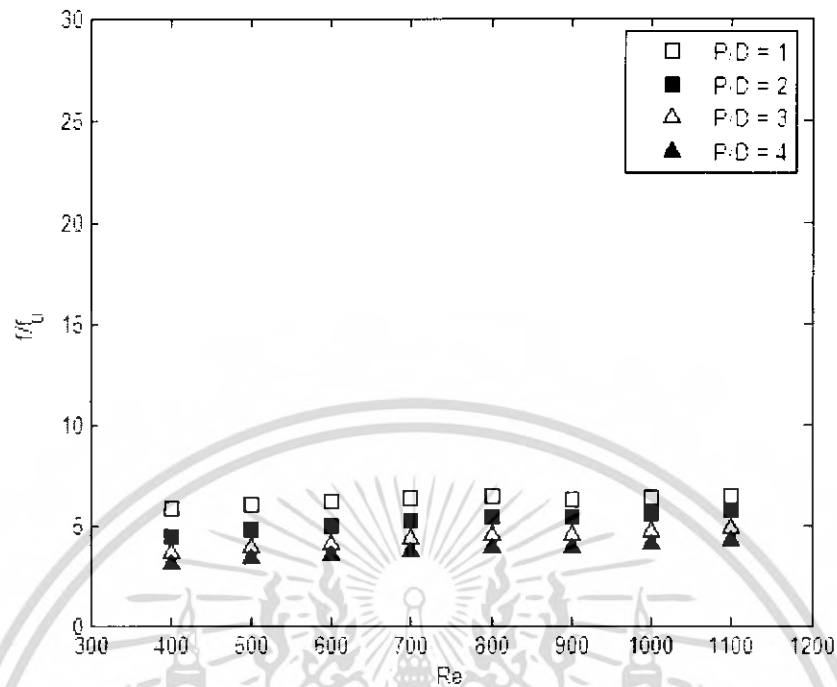


รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 กรณี $B/D = 0.20$

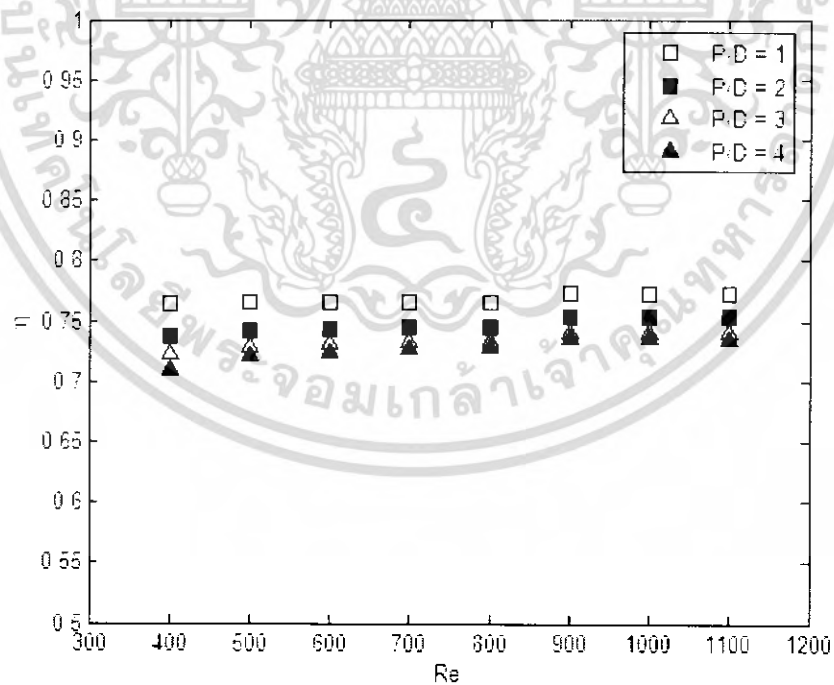


รูปที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f กรณี $B/D = 0.20$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f/f_0 กรณี $B/D = 0.20$



รูปที่ 5.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η กรณี $B/D = 0.20$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าสำหรับช่องขนานมีครีบริปสามเหลี่ยมที่ความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.20 เท่า นั้นการมีครีบริปจะช่วยเพิ่มการพาความร้อนประมาณ 12% ถึง 41% ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้นประมาณ 273% ถึง 524%

5.9 การเปรียบเทียบลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของพารามิเตอร์

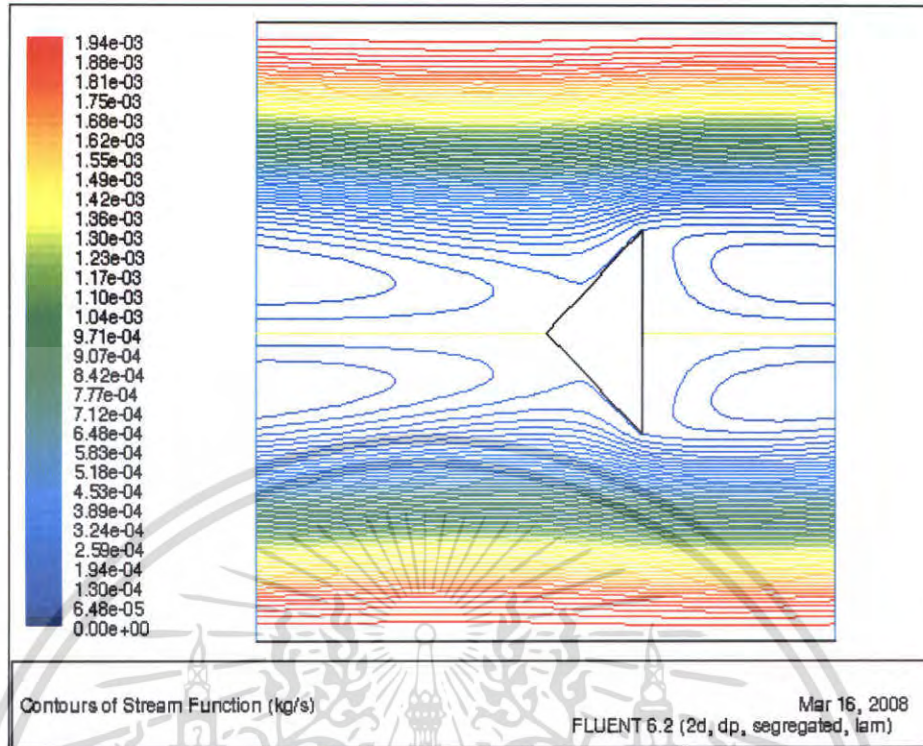
รูปที่ 5.38 แสดงสตีมฟังก์ชัน (Stream Function) ของช่องขนานมีครีบริปโดยมีระยะพิชต์ต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานคงที่เท่ากับ 1 เท่า, ความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า และเรย์โนลด์นัมเบอร์แตกต่างกันเป็น 400 กับ 1000 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปจะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การหมุนวนด้านหลังครีบริปมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ปริมาณการกวาดอนุภาคของของไหลสู่บริเวณผิวช่องขนานไม่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 5.39 แสดงสตีมฟังก์ชันของช่องขนานมีครีบริป โดยมีความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานคงที่เท่ากับ 1 เท่า, เรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 1000 และความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 0.20 กับ 0.33 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปจะพบว่าค่าความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การหมุนวนด้านหลังครีบริปมีขนาดใหญ่ขึ้น และปริมาณการกวาดอนุภาคของของไหลสู่บริเวณผิวช่องขนานเพิ่มขึ้น

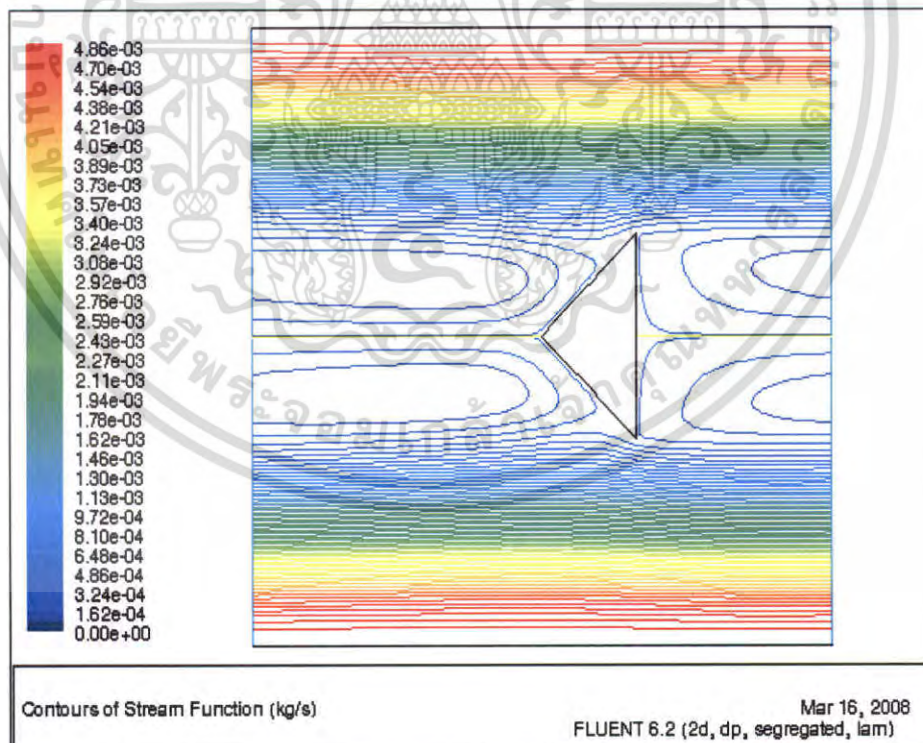
รูปที่ 5.40 แสดงสตีมฟังก์ชันของช่องขนานมีครีบริป โดยมีความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า, เรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 1000 และระยะพิชต์ต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 1 กับ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปจะพบว่าค่าระยะพิชต์ต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การหมุนวนด้านหลังครีบริปมีขนาดที่ไม่สามารถหมุนวนอนุภาคของของไหลให้ไปจนถึงครีบริปชุดต่อไปได้ และปริมาณการกวาดอนุภาคของของไหลสู่บริเวณผิวของช่องขนานลดลง

รูปที่ 5.41 และ รูปที่ 5.42 แสดงการกระจายของอุณหภูมิและความดันของช่องขนานมีครีบริป โดยมีความกว้างฐานครีบริปต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน 0.33 เท่า, ระยะพิชต์ต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน 1 เท่า และเรย์โนลด์นัมเบอร์เท่ากับ 1000 พบว่าครีบริปจะมีผลทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวช่องขนานมีการกระจายตัวมากขึ้น แต่ครีบริปซึ่งเข้าไปขวางการไหลทำให้เกิดความดันสูญเสียมากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

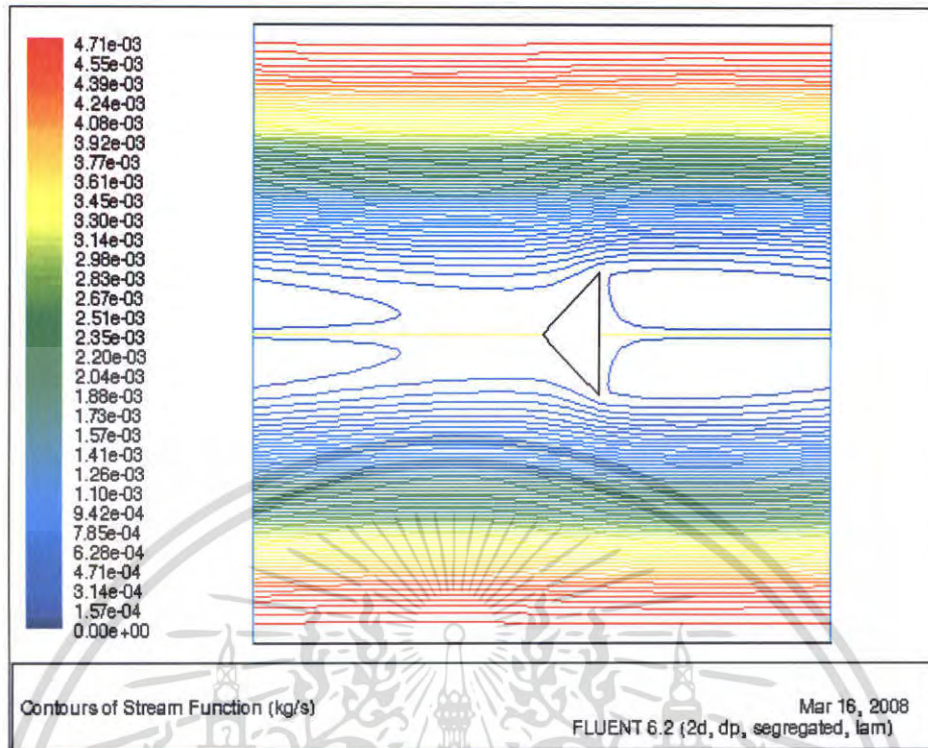


(a)

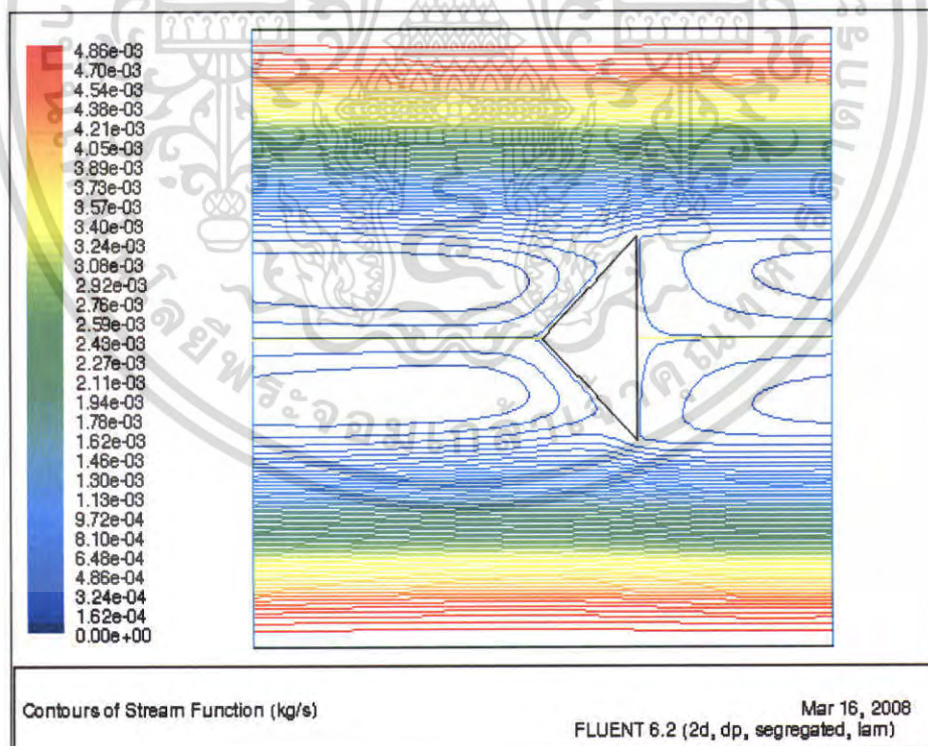


(b)

รูปที่ 5.38 แสดงสตีมฟังก์ชันกรณี $B/D = 0.33$, $P/D = 1$ โดยที่ (a) $Re = 400$ (b) $Re = 1000$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

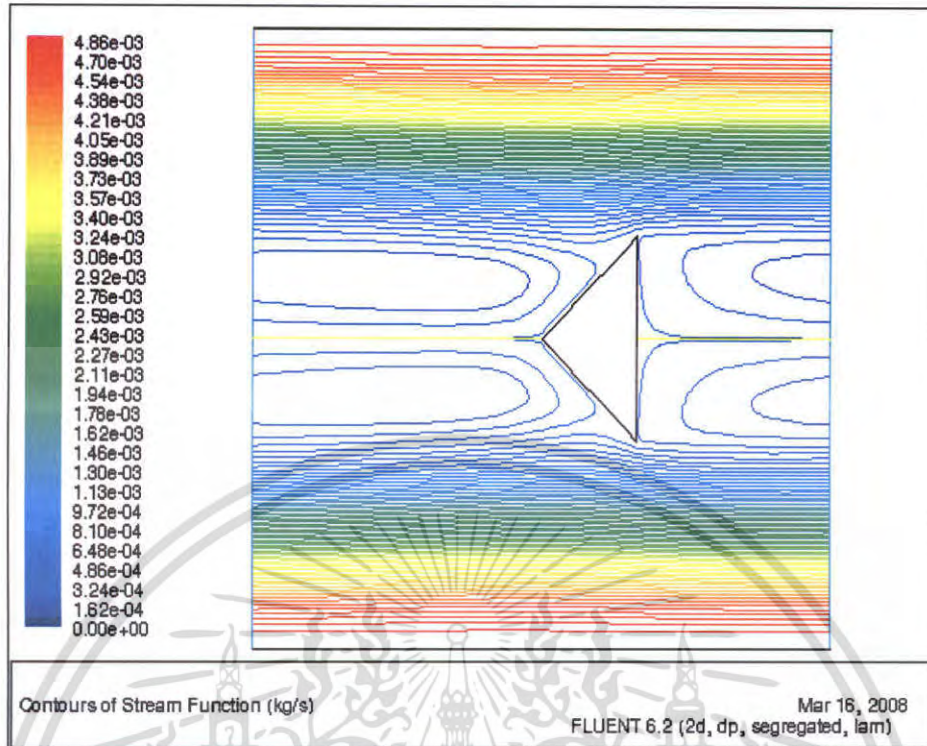


(a)

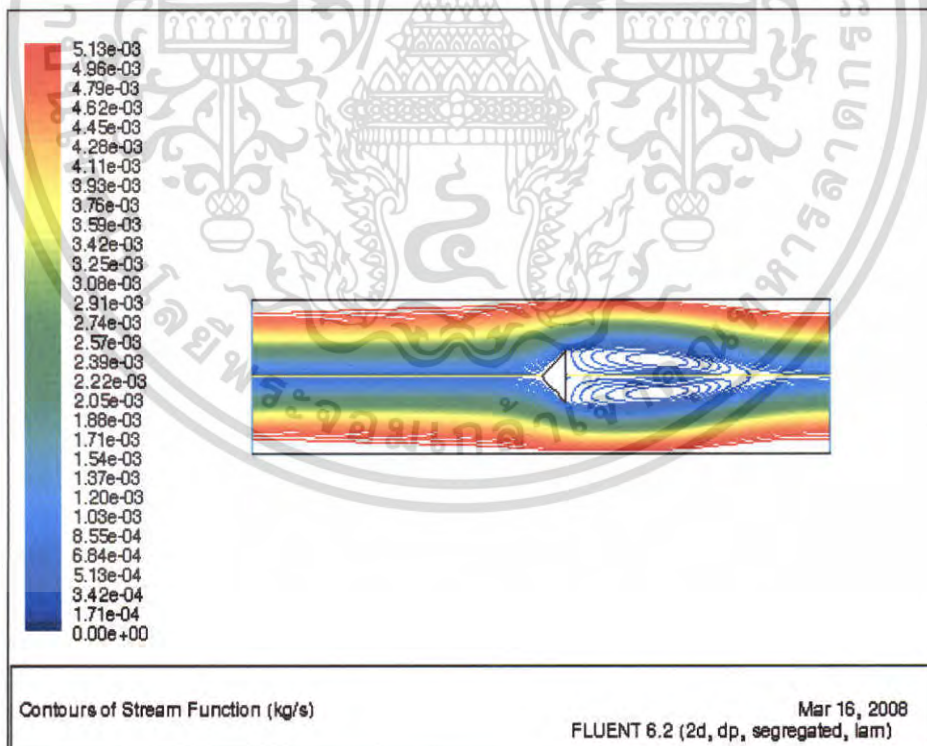


(b)

รูปที่ 5.39 แสดงสตีมฟังก์ชันกรณี $P/D = 1$, $Re = 1000$ โดยที่ (a) $B/D = 0.20$ (b) $B/D = 0.33$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. ให้ออกให้ฟรีเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

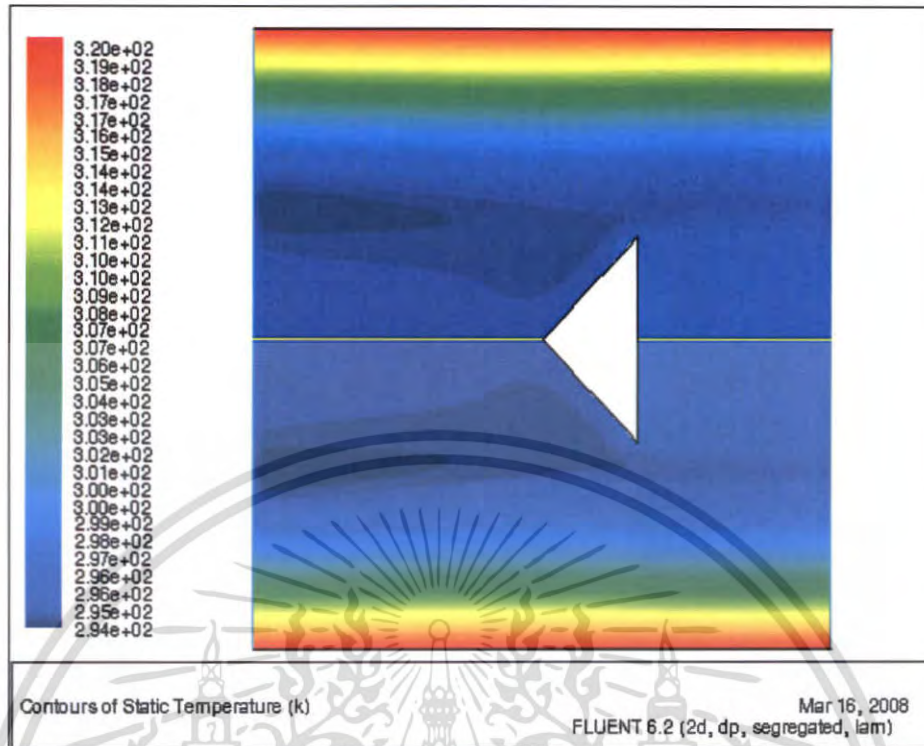


(a)

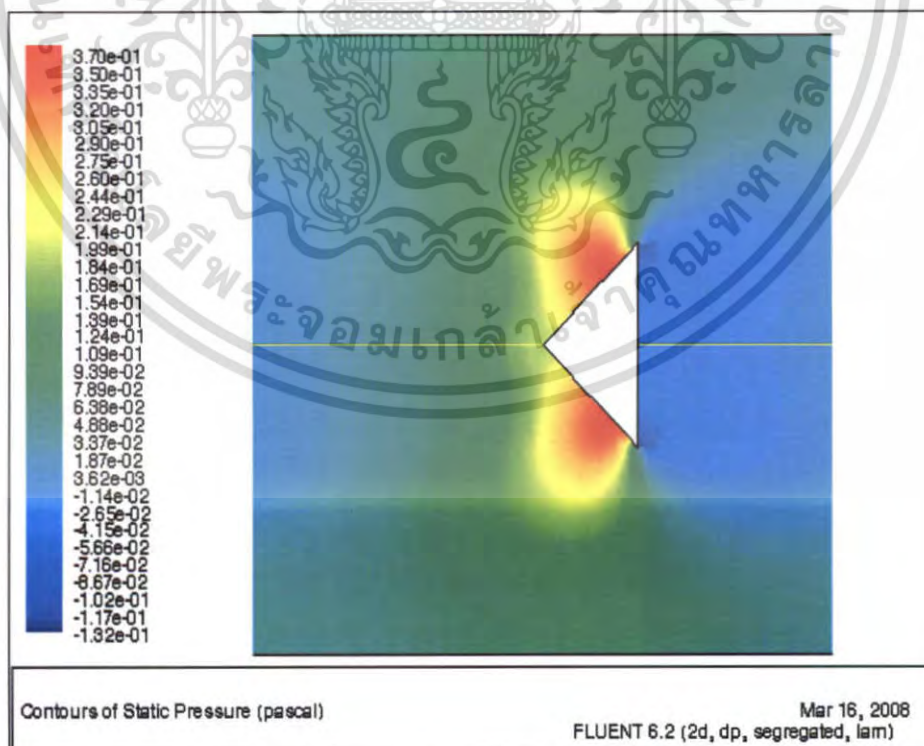


(b)

รูปที่ 5.40 แสดงสตีมฟังก์ชันกรณี $B/D = 0.33$, $Re = 1000$ โดยที่ (a) $P/D = 1$ (b) $P/D = 4$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 แสดงการกระจายของอุณหภูมิของกรณีย์ $B/D = 0.33$ $P/D = 1$ $Re = 1000$



รูปที่ 5.42 แสดงการกระจายของความดันของกรณีย์ $B/D = 0.33$ $P/D = 1$ $Re = 1000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบและระยะพิคของครีบบรูสามเหลี่ยมต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในช่องขนานสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่แสดงไว้ข้างต้นนั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. ช่องขนานมีครีบบรูสามเหลี่ยมจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน 12% ถึง 65%, เพิ่มการสูญเสียความดัน 273% ถึง 961% และลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลง 34.24% ถึง 23.24% เมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานผิวเรียบ
2. สำหรับช่องขนานมีครีบบรูสามเหลี่ยมที่มีระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากันนั้น ที่ค่าความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 0.33 เท่า จะมีการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด, ที่ค่าความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 0.20 เท่า จะมีการสูญเสียความดันต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด
3. สำหรับช่องขนานมีครีบบรูสามเหลี่ยมที่มีความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากันนั้น ที่ค่าระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 1 เท่า จะมีการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด, ที่ระยะพิคต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 4 เท่า จะมีการสูญเสียความดันต่ำที่สุด

การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนเป็นผลมาจากการหมุนวนของของไหลผ่านครีบบรูสามเหลี่ยมซึ่งจะทำให้เกิดการกวาดของอนุภาคของของไหลสู่บริเวณผิวของช่องขนานเป็นผลให้ของไหลบริเวณผิวของช่องขนานมีการกระจายตัวดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการหมุนวนนี้จะเข้าขัดขวางการไหลของของไหลซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความดันมากขึ้นอีกเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

การจำลองการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้งกริบบรูสามเหลี่ยมดังวิธีที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้นอาจเป็นทางเลือกหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปได้ อย่างไรก็ตามยังมีข้อควรให้ความสนใจเกี่ยวกับการทดลองนี้อีกเล็กน้อย ยกตัวอย่างเช่น

1. การทดลองนี้มีขอบเขตในการกำหนดช่วงการไหลของของไหลแบบราบเรียบ แต่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวนมาก ช่วงการไหลของของไหลจะเป็นช่วงเทอร์บูเลนต์ ดังนั้นควรจะมีการขยายขอบเขตงานวิจัยให้ครอบคลุมช่วงเทอร์บูเลนต์ด้วย
2. รูปสามเหลี่ยมที่ใช้เป็นกริบบรูนั้นควรมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมุมต่างๆ เพื่อหาความเหมาะสมมากที่สุด
3. ค่าระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานควรใช้ค่าที่น้อยกว่า 1 เท่าด้วย เพื่อทดสอบว่าค่าระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่น้อยๆ จะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นอีกหรือไม่
4. ค่าความกว้างฐานกริบบรูต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานควรใช้ค่าที่มากกว่า 0.33 เท่าด้วย เพื่อทดสอบว่าค่าความกว้างฐานกริบบรูต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นอีกหรือไม่
5. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นเพียงแค่การจำลองการทำงานด้วยวิธีเชิงตัวเลข ค่าความผิดพลาดจากการปัดเศษ (Round-off Errors) ค่าความผิดพลาดจากรูปแบบการคำนวณ (Truncation Errors) เป็นค่าผิดพลาดที่พบได้ทั่วไปในวิธีเชิงตัวเลขนี้ จึงควรมีการประเมินความน่าเชื่อถือจากผลการทดลองจริงด้วยเพื่อความถูกต้อง

บรรณานุกรม

- พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2542. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มนตรี พิรุณเกษม. 2542. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: บริษัท วิทยพัฒน์ จำกัด.
- วีรชาติ นวรุ่งเรือง, อุดมเกียรติ นนทแก้ว และ อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง. 2545. “การจำลองสนามการไหลของอากาศผ่านครีบบระบายความร้อนแบบเกล็ดด้วยเงื่อนไขที่ขอบเขตแบบฟร็อดดิก.” **สัมมนาวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16.** : 206-210.
- วีรชาติ นวรุ่งเรือง. 2546. “การวิเคราะห์อิทธิพลลักษณะรูปทรงของครีบบระบายความร้อนแบบเกล็ดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Anderson, J.D., et al. 1992. **Introduction to computational fluid dynamics.** New York: Springer-Verlag.
- Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. 2002. **Fundamental of Fluid Mechanics.** Singapore: John Wiley and Sons.
- Cengel, Yunus A. and Boles, Michael A. 1994. **Thermodynamics an engineering approach.** 2nd. USA: McGraw-Hill.
- Chang, Yu-Juei. and Wang, Chi-Chuan. 1997. “A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry.” **International jour of heat and mass transfer.** 40(3) : 533-544.
- Chang, Yu-Juei., et al. 2000. “A generalized friction correlation for louver fin geometry.” **International journal of heat and mass transfer.** 43 (3) : 2237-2243.
- Chapra, Steven C. and Canale, Raymond P. 1988. **Numerical methods for engineers.** Singapore: McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chung, T.J. 2002. **Computational fluid dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Currie, I.G. 1993. **Fundamental mechanics of fluids**. Singapore: McGraw-Hill.
- Dejong, N.C. and Jacobi, A.M. 2003. "Flow, heat transfer and pressure drop in near-wall region of louvered fin arrays." **Experimental thermal and fluid science**. 27 (2) : 237-250.
- Eric C. Guyer. 1989. **Hand book of applied thermal design**. USA: McGraw- Hill.
- Ferziger, J.H. and Peric M. 1999. **Computational methods for fluid dynamics**. 2nd ed. Germany: Spronger verlag Heldeberg.
- Holman, J.P. 1990. **Heat transfer**. 7th ed. USA: McGraw-Hill.
- Incropera, Dewitt, Bergmann and Lavine. 2007. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 6th ed. New York: John Wiley and Sons.
- Panton, Ronald L. 1933. **Incompressible flow**. USA: A Wiley-Interscience publication.
- Potter, Merle C. and Wiggert, David C. 1991. **Mechanics of fluids**. USA: Prentice-Hall.
- Ralph L. Webb, Nae-Hyun Kim. 1991. **Principle of Enhanced Heat Transfer**. 2nd ed. USA: Taylor & Francis.
- Shames, Irving H. 1992. **Mechanics of fluids**. Singapore: McGraw-Hill.
- Yan, Wei-Mon. and Sheen, Pay-Jen. 2000. "Heat transfer and friction characteristics of fin-and-tube heat exchangers." **International jour of heat and mass transfer**. 43 (2) : 1651-1659.
- Zang, X. and Tafti, D.K. 2001. "Classification and effect of thermal wakes on heat transfer in multilouvered fins." **International journal of heat and mass transfer**. 44 (1) : 2461-2473.

ภาคผนวก

บทความประกอบการนำเสนอโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การจำลองการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบรูปสามเหลี่ยม¹

ชยุต บุญยวัฒน์², ชัช นกจิบ², ธราพงษ์ รัตนบัณฑิต², พงษ์เจต พรหมวงศ์³

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงผลจากการจำลองการทำงานของการไหลแบบราบเรียบภายในช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบรูปสามเหลี่ยมโดยจะศึกษาอิทธิพลของครีบริบต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาจะเริ่มต้นสร้างแบบจำลองของช่องขนานโดยที่ผิวของช่องขนานมีอุณหภูมิผิวคงที่ จากนั้นครีบริบรูปสามเหลี่ยมจะถูกติดตั้งเข้าไปภายใน ครีบริบที่ติดตั้งนี้มี 2 รูปแบบคือ รูปแบบแรกค่าระยะพิชตต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่แต่ความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า อีกรูปแบบคือค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่แต่ระยะพิชตต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าแตกต่างกันเป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า หลังจากนั้นเริ่มการจำลองการทำงานโดยกำหนดให้มีการไหลในช่วงราบเรียบ (เรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 400 ถึง 1100) โดยนำค่านี้เทเชร์ทน์นัมเบอร์ อัตราส่วนของนเทเชร์ทน์นัมเบอร์เทียบกับช่องขนานผิวเรียบ ค่าตัวประกอบความเสียดทาน อัตราส่วนของตัวประกอบความเสียดทานเทียบกับช่องขนานผิวเรียบ และค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองการทำงานมาเปรียบเทียบกันเพื่อประเมินอิทธิพลของเรย์โนลด์นัมเบอร์ ความกว้างฐานครีบริบ และระยะพิชตของครีบริบที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และตัวประกอบความเสียดทาน

Abstract

This project presents the simulated result of Laminar flow in a channel mounted with triangular fins, by considering the influence of triangular fin on enhancement of heat transfer. At the first, a model of the channel is introduced at which its surface temperature is kept constant and a triangular fin is placed on the channel centre. There are 2 types of fins arrangement, first the pitch to channel height ratio is fixed and varying the fin base to be 0.33, 0.25 and 0.20 times of channel height, The other type is the fin base to channel height ratio is fixed while the pitch ratio is adjusted to be 1, 2, 3 and 4. Then, the simulation is performed for flow in a laminar range (Reynold number are 400 to 1100). Finally the Nusselt number, friction factor and enhancement efficiency are presented against the Reynolds number for different the pitch ratio and the fin base ratio that give their effect on convection heat transfer coefficient and friction coefficient.

© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

Keywords: Triangular fins, Reynold number, Nusselt number, Friction factor, CFD

1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้กระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่มาก เช่น หม้อไอน้ำ ซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน การผลิตหรือการดำเนินงานต่างๆ ยังไม่สามารถทำได้มากเท่าที่ควร เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในโรงงานนั้นๆ มีการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีพอหรือมีความเสียดทานภายในช่องขนานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากเกินไป

การสร้างและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานนั้น เราต้องสูญเสียเวลา อุปกรณ์และแรงงาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวเราจึงใช้โปรแกรมทางด้านซีเอฟดี (CFD) ที่สามารถวิเคราะห์แรงและพลังงานของของไหลขณะไหลผ่านสิ่งต่างๆ ได้ มาช่วยในการจำลองการไหลของของไหลผ่านช่องขนานที่ติดตั้งครีบริบอยู่ภายใน เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับของไหล

¹ชื่ออังกฤษ "Simulation of heat transfer in a channel with triangular fins"

²นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 47010146, 47010160 และ 47010329 ตามลำดับ

³อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. โทร. 0 2326 4197

สัญลักษณ์			
A	พื้นที่หน้าตัดของช่องขนาน	Re	เรย์โนลด์นัมเบอร์
A_s	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน	T_w	อุณหภูมิที่ผิว
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะแบบความดันคงที่	T_∞	อุณหภูมิของไหลอิสระ
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	u_m	ความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในช่องขนาน
f	ตัวประกอบความเสียดทาน	$x_{j,u}$	ความยาวของช่องขนานช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับ
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย		สภาวะที่ปรับตัวคงที่แล้วของความร้อน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	Φ	ฟังก์ชันการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานจากความหนืด
L	ความยาวช่องขนาน		
Nu	นัสเซิลนัมเบอร์	ΔP	ความดันตกคร่อมภายใน
P	ความยาวเส้นรอบรูปของช่องขนาน	ρ	ความหนาแน่นของของไหล
Pr	พลาตันนัมเบอร์	μ	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล
Q_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไหลได้รับ	η	ประสิทธิภาพของการพาความร้อน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สำหรับโครงการนี้เราจะทำการศึกษาพฤติกรรมและการแลกเปลี่ยนความร้อนของช่องขนาน ที่มีครีบริบปริซึมสามเหลี่ยมอยู่ภายใน

1. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมฟลูเอนท์ (Fluent) จำลองการไหลของของไหลผ่านช่องขนานที่มีครีบริบปริซึมสามเหลี่ยม ติดอยู่ภายใน
2. ศึกษาความกว้างฐานครีบริบปริซึมสามเหลี่ยมต่อระยะห่างของช่องขนานที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด
3. ศึกษาระยะพิชิตต่อระยะห่างของช่องขนานที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด
4. ศึกษาค่าของเรโนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number) ของของไหลที่ทางเข้า ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน
5. ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของความเสียดทานเมื่อติดตั้งครีบริบทรงปริซึมสามเหลี่ยม

3. ลักษณะพื้นฐานการไหลภายใน

พื้นฐานของการไหลของของไหลภายในสามารถจำแนกได้โดยใช้เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number : Re) ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$Re = \frac{\rho u_m D}{\mu} \tag{1}$$

โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter : D) มีนิยามดังนี้

$$D = \frac{4A}{p} \tag{2}$$

4. สมการควบคุมการไหล

การไหลของของไหลมีคุณสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไหลสม่ำเสมอ อัตราการไหลสุทธิของสสารที่เข้าไปในปริมาตรควบคุม หรือมวลที่ไหลเข้าลบกับมวลที่ไหลออก ต้องเท่ากับศูนย์ ซึ่งแสดงสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \text{ กรณีการไหลอัดตัวไม่ได้} \tag{3}$$

สมการนี้เรียกว่าสมการต่อเนื่อง (Continuity equation)

ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมต้องเท่ากับอัตราสุทธิของโมเมนตัมที่ออกจากปริมาตรควบคุมหรือโมเมนตัมที่ไหลออกไปลบกับโมเมนตัมที่ไหลเข้ามา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

โมเมนตัมของแกน x,

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

โมเมนตัมของแกน y,

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{5}$$

สมการทั้งสองนี้เรียกว่าสมการโมเมนตัม (Momentum equation)

ผลรวมของอัตราพลังงานที่เข้ามาโดยการนำ อัตราพลังงานที่เข้าโดยแรงจากน้ำหนัก และอัตราพลังงานที่เข้าโดยความเค้นที่ผิวเท่ากับอัตราพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สำหรับการไหลสม่ำเสมอ 2 มิติอัดตัวไม่ได้

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \Phi \tag{6}$$

ฟังก์ชันการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานหนืดแสดงได้ดังนี้

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \tag{7}$$

5. สมการพาความร้อน

เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของแข็งมีค่าต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง กลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า "การพาความร้อน" การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่พื้นผิว มีสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_{conv} = hA_s(T_w - T_x) \quad (8)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนพิจารณาในรูปของค่าตัวเลขที่นัมเบอร์ (Nusselt Number : Nu) ดังสมการ

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (9)$$

การไหลแบบลามินาร์ปรับตัวเต็มที่แล้วภายในช่องขนานโดยมีอุณหภูมิที่ผิวช่องขนานคงที่ เราสามารถหาค่า Nusselt Number โดยขบวนการซ้ำ (iteration) โดยคอมพิวเตอร์ [1, 2] ได้ค่าความสัมพันธ์ของ Nusselt Number ดังนี้

$$Nu = 7.54 \quad (10)$$

ความยาวของช่องขนานช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับสภาวะที่ปรับตัวเต็มที่แล้วของความร้อนสำหรับการไหลแบบลามินาร์ได้จากสมการ

$$\left(\frac{X_{\mu,j}}{D}\right) \approx 0.05 Re Pr \quad (11)$$

พลาตินัมเบอร์ (Prandtl Number : Pr) ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ได้จากนิยาม

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (12)$$

ประสิทธิภาพของการพาความร้อน

เราสามารถวัดประสิทธิภาพการพาความร้อนได้ของช่องขนานที่ติดครีบ โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับการพาความร้อนของช่องขนานเปล่า เมื่อกำหนดให้คุณสมบัติของของไหลที่บริเวณทางเข้าเหมือนกันทุกประการ เราจะได้สมการประสิทธิภาพของการพาความร้อนดังนี้

$$\eta = \frac{Nu}{Nu_0} = \left(\frac{f}{f_0}\right)^{1/3} \quad (13)$$

5. สมการความเสียดทาน

ตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor : f) จะพิจารณาจากความดันลดลงของของไหลที่ไหลภายใน ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$f = \frac{\Delta PD}{L \rho u_m^2 / 2} \quad (14)$$

ในการไหลแบบลามินาร์ที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ตัวประกอบความเสียดทาน

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ของของไหลภายในท่อกลม [3] จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{64}{Re} \quad (15)$$

การจำลองในโครงานานี้กำหนดให้ของไหลไหลภายในช่องขนาน ตัวประกอบความเสียดทาน [4] จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = \frac{96}{Re} \quad (16)$$

6. วิธีการทดลอง

การพิจารณาการไหลในช่องขนานติดครีบรูปสามเหลี่ยมสามารถพิจารณาโดยการสร้างแบบจำลองขึ้นในคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถทำได้โดยการจำลองช่องขนานติดครีบรูปสามเหลี่ยมโดยใช้โปรแกรมแกมบิท (Gambit) โดยวิธีสร้างรูปจำลองสร้างขึ้นทำได้นี้ ขั้นตอนแรกสร้างจุดที่ต้องการทั้งหมดในตำแหน่งต่างๆ จากนั้นใช้คำสั่งในการสร้างเส้นขอบเพื่อเชื่อมโยงจุดและกำหนดลักษณะของรูปร่าง ต่อมาใช้คำสั่งในการขึ้นรูปเพื่อขึ้นรูปในระนาบสองมิติให้สมบูรณ์ หลังจากนั้นใช้คำสั่งในการตีช่องเพื่อทำการแบ่งช่องความละเอียดที่ใช้ในการทำการทดลอง โดยจะมีรูปแบบจำลองที่จะนำไปใช้ในการทดลอง 3 กรณี โดยกรณีแรกเป็นช่องขนานผิวเรียบไม่ติดครีบ กรณีที่สองมีการติดครีบที่มีอัตราส่วนความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างของช่องขนาน (B/D) เท่ากับ 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า โดยที่ระยะพิงต่อระยะห่างของช่องขนาน (P/D) คงที่ และกรณีนี้สามมีการติดครีบที่ระยะพิงต่อระยะห่างของช่องขนานเท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 โดยที่อัตราส่วนความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างของช่องขนานคงที่



รูปที่ 1 แบบจำลองของช่องขนานที่ติดครีบ

ขั้นตอนการทดลองเราใช้การจำลองรูปแบบการทดลองในโปรแกรมฟลูเอนท์ โดยเมื่อเข้าโปรแกรมฟลูเอนท์ให้เลือกเป็นคำนวณแบบความละเอียด 2 เท่าจากนั้นทำการกำหนดขอบเขตเริ่มต้น (Boundary condition) โดยทำการกำหนดดังนี้ บริเวณทางเข้าและทางออกกำหนดเป็นพีริออดิก (Periodic) หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความดันตามทิศทางการไหลของของไหลเท่ากับศูนย์ ที่ผิวของช่องขนานมีอุณหภูมิที่ผิวคงที่เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส และเรากำหนดให้ครีบที่ใช้ทำการทดลองเป็นผนังไม่มีการถ่ายเทความร้อน อัตราการไหลของมวลขาเข้าเรากำหนดให้มีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยอัตราการไหลของมวลของของไหลจะขึ้นกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ดังนี้

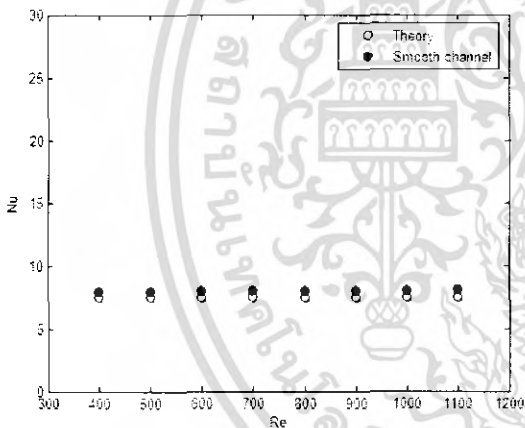
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเรโนลด์นัมเบอร์และอัตราการไหลของมวลขาเข้า

เรโนลด์นัมเบอร์	อัตราการไหลของมวลขาเข้า (kg/s)
400	1.8460×10^{-3}
500	2.3075×10^{-3}
600	2.7690×10^{-3}
700	3.2305×10^{-3}
800	3.6920×10^{-3}
900	4.1535×10^{-3}
1000	4.6150×10^{-3}
1100	5.0765×10^{-3}

7. ผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบจากการจำลองการทำงานกับทฤษฎีในกรณีนี้ช่องขนานมีผิวเรียบ โดยให้ความสนใจที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ได้ผลดังนี้มีดังต่อไปนี้

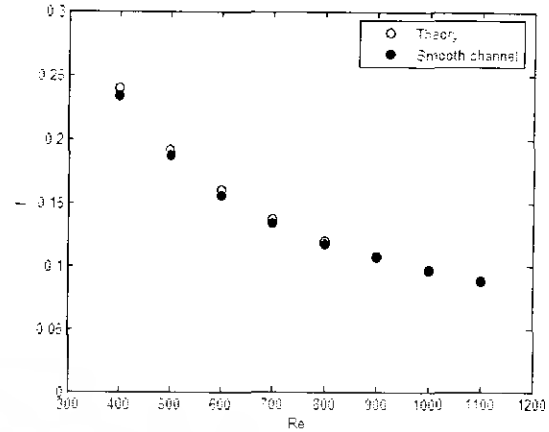
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและได้จากทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 6.28%



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและได้จากทฤษฎี

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและที่ได้จากทฤษฎี ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีความคลาดเคลื่อนกับทฤษฎีประมาณ 1.80%

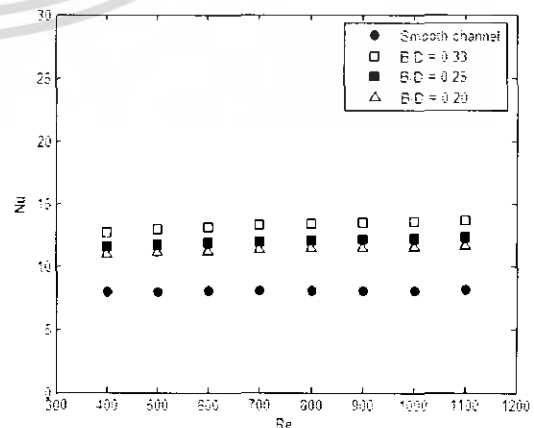
ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิชต์ต่อระยะห่างช่องขนานคงที่เท่ากับ 1 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมต่อระยะห่างระหว่างช่องขนาน เพื่อหาอิทธิพลของความกว้างฐานครีบริบรูปสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานผิวเรียบที่ได้จากการจำลองการทำงานและได้จากทฤษฎี

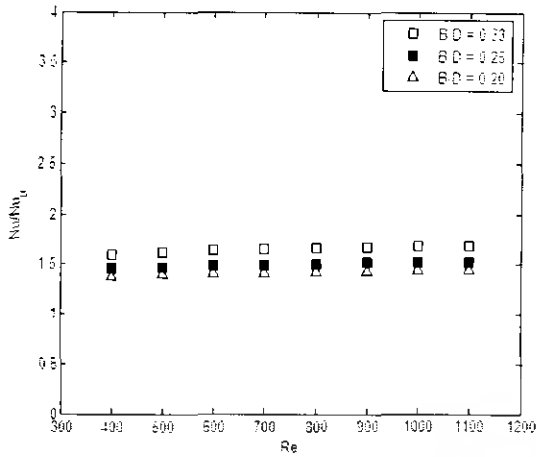
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่าที่เชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าที่เชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 13.236, 11.977 และ 11.325 ตามลำดับ

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อนัทเชิร์ตนัมเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์ แต่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนนัทเชิร์ตนัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเป็น 1.651, 1.494 และ 1.413 เท่า ตามลำดับ

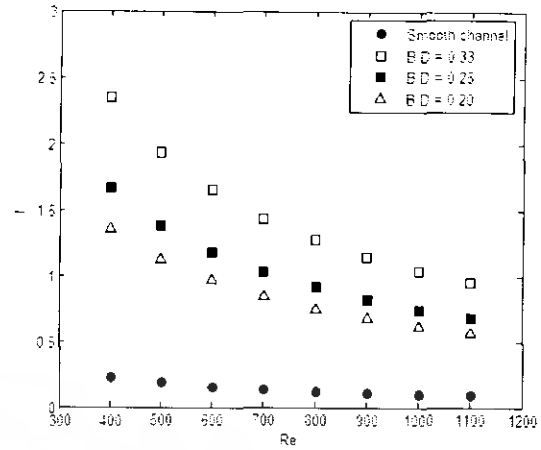


รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบโดย B/D ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนกฎหมายลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสาร



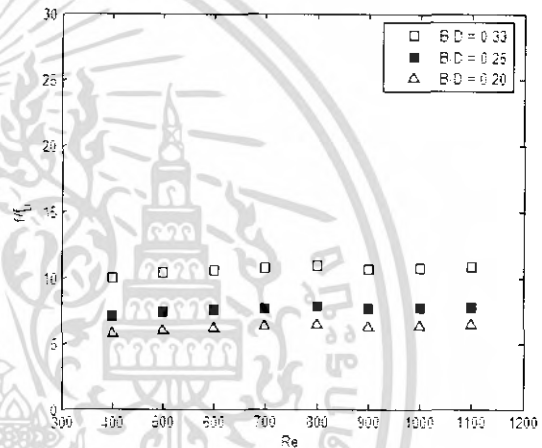
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu_h/Nu_0 ของช่องทางผิวเรียบ และช่องทางมีครีบโดย B/D ต่างกัน



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องทางผิวเรียบและช่องทางมีครีบโดย B/D ต่างกัน

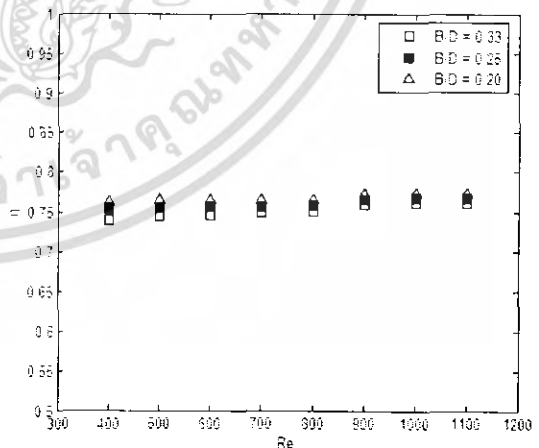
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียหายของช่องทางผิวเรียบและช่องทางมีครีบโดยความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องทางเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียหายมีค่าลดลง อีกทั้งความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องทางที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียหายมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายของช่องทางติดครีบต่อตัวประกอบความเสียหายของช่องทางผิวเรียบ (f/f_0) โดยความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องทางเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียหาย แต่ค่าความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างช่องทางที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนส่วนตัวประกอบความเสียหายมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10.611, 7.599 และ 6.243 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ (f/f_0) ของช่องทางมีครีบโดย B/D ต่างกัน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องทางมีครีบโดยความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องทางเป็น 0.33, 0.25 และ 0.20 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่ต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างช่องทางที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.751, 0.760 และ 0.767 ตามลำดับ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องทางมีครีบโดย B/D ต่างกัน

ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีระยะพิศต่อระยะห่างช่องทางคงที่เท่ากับ 2, 3 และ 4 เท่า สามารถดูได้จากตารางที่ 2

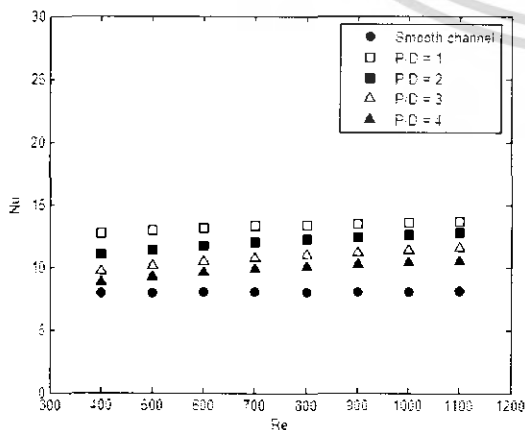
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากับ 0.33 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เพื่อหาอิทธิพลของระยะพิตของครีบริบสามเหลี่ยมได้ผลดังต่อไปนี้

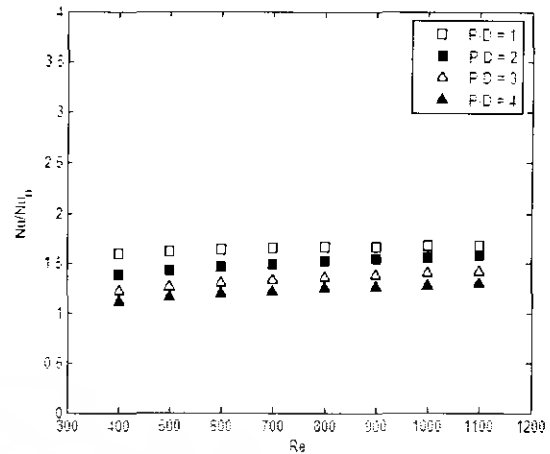
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับพื้นที่ครีบริบเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบซึ่งระยะพิตต่อระยะห่างระหว่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อค่าพื้นที่ครีบริบเบอร์ แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าพื้นที่ครีบริบเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 13.236, 12.017, 10.749 และ 9.829 ตามลำดับ

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนพื้นที่ครีบริบเบอร์ของช่องขนานมีครีบริบต่อพื้นที่ครีบริบเบอร์ของช่องขนานผิวเรียบ โดยซึ่งระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนพื้นที่ครีบริบเบอร์ แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนพื้นที่ครีบริบเบอร์มีค่าลดลง โดยมีค่าเป็น 1.651, 1.499, 1.340 และ 1.226 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบโดยระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง อีกทั้งระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลง



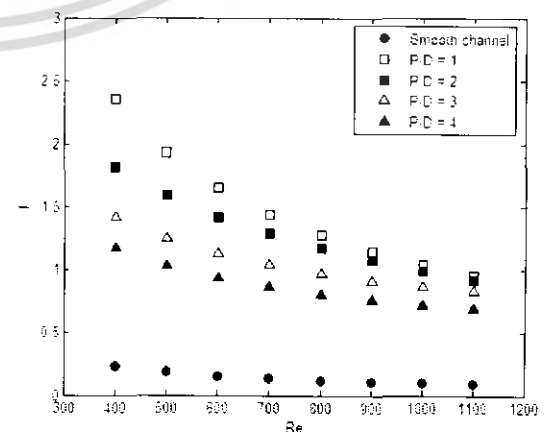
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบโดย P/D ต่างกัน



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ Nu/Nu_0 ของช่องขนานผิวเรียบ และช่องขนานมีครีบริบโดย P/D ต่างกัน

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานติดครีบริบต่อตัวประกอบความเสียดทานของช่องขนานผิวเรียบ โดยระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่ออัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน แต่ค่าระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลงเป็น 10.611, 9.461, 7.862 และ 6.523 เท่า ตามลำดับ

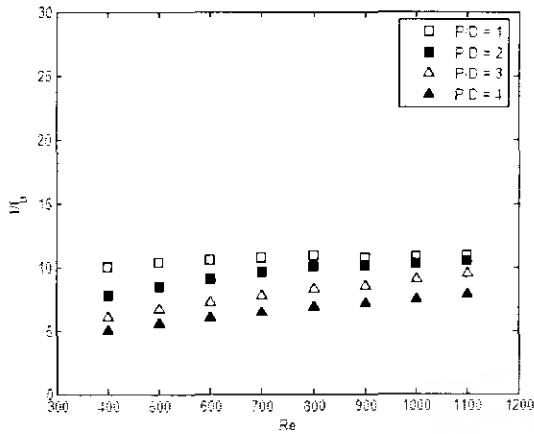
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์นัมเบอร์กับประสิทธิภาพของช่องขนานมีครีบริบโดยระยะพิตต่อระยะห่างช่องระหว่างขนาน เป็น 1, 2, 3 และ 4 เท่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่าง 400 ถึง 1100 จะพบว่าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ อีกทั้งพบว่าค่าระยะพิตของครีบริบต่อระยะห่างช่องระหว่างขนานที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพลดลงโดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่าเป็น 0.751, 0.709, 0.675 และ 0.657 ตามลำดับ



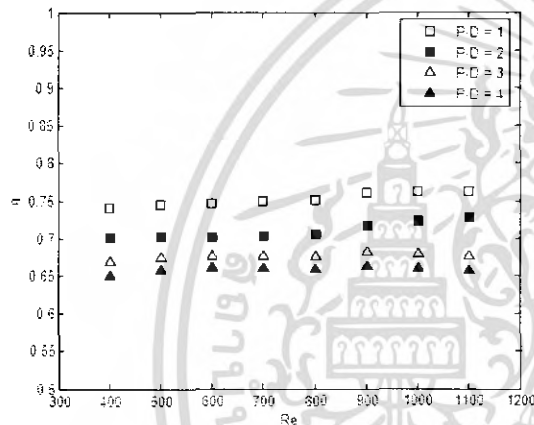
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ f ของช่องขนานผิวเรียบและช่องขนานมีครีบริบโดย P/D ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. จะดำเนินการฟ้องดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ (f/f_0) ของช่องขนานมีครีบ โดย P/D ต่างกัน



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Re กับ η ของช่องขนานมีครีบโดย P/D ต่างกัน

ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อกำหนดให้มีความกว้างฐานครีบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานคงที่เท่ากับ 0.25 และ 0.20 เท่า สามารถดูได้จากตารางที่ 3

อิทธิพลของครีบที่มีผลต่อสตีมฟังก์ชันของของไหล (Stream Function, kg/s) แสดงได้ดังรูปที่ 14

อิทธิพลของครีบที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหล (Contours of Static Temperature, K) แสดงได้ดังรูปที่ 15

อิทธิพลของครีบที่มีผลต่อการกระจายตัวของความดันของของไหล (Contours of Static Pressure, Pa) แสดงได้ดังรูปที่ 16

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ค่า P/D คงที่ เท่ากับ 2, 3, และ 4 เท่า

P/D	B/D	Nu	Nu/Nu_0	f/f_0	η	การพาความร้อนเพิ่ม	ความเสียดทานเพิ่ม
2	0.33	12.017	1.499	9.461	0.709	29% ถึง 49%	418% ถึง 846%
	0.25	10.965	1.367	6.508	0.733		
	0.20	10.354	1.291	5.186	0.746		
3	0.33	10.749	1.340	7.862	0.675	19% ถึง 34%	331% ถึง 686%
	0.25	9.991	1.246	5.370	0.712		
	0.30	9.570	1.193	4.315	0.733		
4	0.33	9.829	1.226	6.523	0.657	12% ถึง 22%	273% ถึง 552%
	0.25	9.338	1.164	4.584	0.702		
	0.20	9.037	1.127	3.734	0.727		

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ค่า B/D คงที่ เท่ากับ 0.25 และ 0.20 เท่า

B/D	P/D	Nu	Nu/Nu_0	f/f_0	η	การพาความร้อนเพิ่ม	ความเสียดทานเพิ่ม
0.25	1	11.977	1.494	7.599	0.760	16% ถึง 49%	358% ถึง 659%
	2	10.965	1.367	6.598	0.733		
	3	9.991	1.246	5.370	0.712		
	4	9.338	1.164	4.584	0.702		
0.20	1	11.325	1.413	6.243	0.767	12% ถึง 41%	273% ถึง 524%
	2	10.354	1.291	5.186	0.746		
	3	9.570	1.193	4.315	0.733		
	4	9.037	1.127	3.734	0.727		

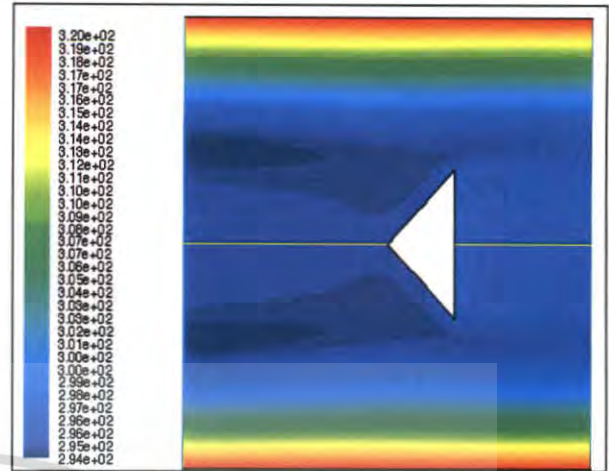
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สรุปผลการทดลอง

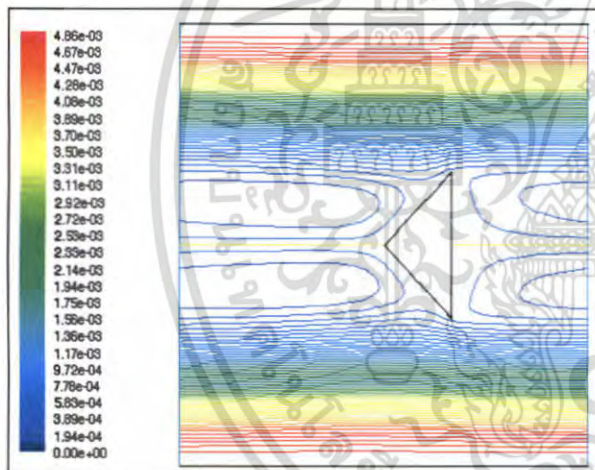
จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ช่องขนานมีครีบริบสามเหลี่ยมจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน 12% ถึง 65%, เพิ่มการสูญเสียความดัน 273% ถึง 961% และลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลง 34.24% ถึง 23.24% เมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานผิวเรียบ

สำหรับช่องขนานมีครีบริบสามเหลี่ยมที่มีระยะพิดต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากันนั้น ที่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 0.33 เท่า จะมีการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด, ที่ค่าความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 0.20 เท่า จะมีการสูญเสียความดันต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

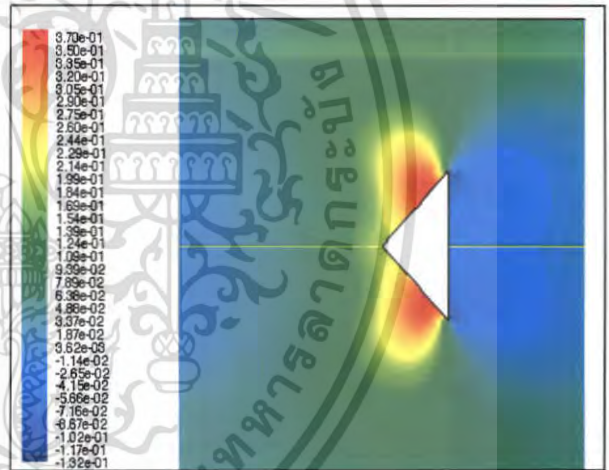
สำหรับช่องขนานมีครีบริบสามเหลี่ยมที่มีความความกว้างฐานครีบริบต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานมีค่าคงที่เท่ากันนั้น ที่ค่าระยะพิดต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 1 เท่า จะมีการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด, ที่ระยะพิดต่อระยะห่างระหว่างช่องขนานเท่ากับ 4 เท่า จะมีการสูญเสียความดันต่ำที่สุด



รูปที่ 15 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิจากของไหลภายในช่องขนานที่ติดครีบริบ (B/D = 0.33, P/D = 1, Re = 1000)



รูปที่ 14 แสดงสเต็มฟังก์ชันของของไหลภายในช่องขนานที่ติดครีบริบ (B/D = 0.33, P/D = 1, Re = 1000)



รูปที่ 16 แสดงการกระจายตัวของความดันของของไหลภายในช่องขนานที่ติดครีบริบ (B/D = 0.33, P/D = 1, Re = 1000)

เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์เจต พรหมวงศ์. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
- [2] มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร: บริษัท วิทย์พัฒนา จำกัด. 2542.

[3] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. **Fundamental of Fluid Mechanics**. Singapore: John Wiley and Sons. 2002.

[4] Incropera, Dewitt, Bergmann and Lavine. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. New York: John Wiley and Sons. 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

นายชยุต บุญยวัฒน์

เกิด ๑๑ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๒๕

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีวิทยา ๒ สาขา วิทย์-คณิต

การศึกษาในปัจจุบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

นายชัช นกจิบ

เกิด ๕ กรกฎาคม ๒๕๒๘

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ปทุมธานี สาขา วิทย์-คณิต

การศึกษาในปัจจุบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

นายธราพงษ์ รัตนบัณฑิต

เกิด ๑๔ กันยายน ๒๕๒๘

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนระยองวิทยาคม สาขา วิทย์-คณิต

การศึกษาในปัจจุบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้